



**André Daniel Nobre Gonçalves Valente**

**Modelação de um Edifício e  
Obtenção da Solução Ótima de  
Climatização Aplicando a Metodologia  
de Taguchi**

Dissertação submetida para obtenção do grau de  
Mestre em Energia

**Júri**

*Presidente* Professor Doutor Paulo Fontes (Instituto Politécnico de Setúbal)

*Orientador* Professor Doutor Miguel José Sales Cavique Santos (escola Naval da Marinha)

*Orientador* Professor Doutor Luís Manuel Rodrigues Coelho (Instituto Politécnico de Setúbal)

*Vogal* -Eusébio Conceição (Universidade Algarve)

Junho-2017





*À minha Mãe,  
que por mim tanto fez.*

# Agradecimentos

A conceção do seguinte trabalho, só foi possível devido a várias individualidades e entidades que me prestaram auxílio quando necessário e que demonstraram total disponibilidade para o efeito.

Daí, desde já quero agradecer à minha família, amigos e colegas o apoio e o auxílio que me prestaram no decorrer de todo o processo. Em particular quero agradecer às seguintes pessoas e entidades que me possibilitaram a realização do trabalho:

Ao Professor Doutor Miguel José Pereira Sales Cavique Santos meu orientador, por todos os conteúdos científicos que me clarificou e por toda a disponibilidade demonstrada em me instruir. Sem tal facto a conceção de tal trabalho seria de todo impossível.

Ao Professor Doutor Luís Manuel Rodrigues Coelho meu orientador, pela experiência profissional que me ajudou a adquirir e pela disponibilidade demonstrada em me auxiliar no manuseamento de softwares dedicados.

À empresa Ecoperfil – Sistemas Urbanos Sustentáveis, Lda, e aos seus colaboradores André Coelho e Gonçalo Machado, pela partilha de conhecimentos científicos, pela agradável experiência profissional proporcionada e ainda pela partilha de informação deveras crucial para a realização de todo o trabalho.

Por último venho agradecer à Escola Superior de Tecnologia de Setúbal e a todos os seus colaboradores.

# Resumo

A partir de um sistema de ar condicionado tipo aplicável a hotéis, pretende obter-se a solução de parâmetros de funcionamento deste sistema considerada ótima, em termos de consumo energético. Para o efeito, analisar-se-á um conjunto de soluções tecnicamente possíveis, para a climatização de um edifício hoteleiro. A solução ótima de uso de energia pode obter-se da avaliação de todas as hipóteses possíveis, sem que seja necessário testar todas as combinações das variações de parâmetros do projeto em causa. Na realidade, o planeamento de experiências e o método Taguchi permitem obter a solução ótima, estudando apenas um conjunto bem definido das hipóteses referidas. A realização deste trabalho terá as seguintes três fases. Primeiramente classifica-se o conceito *NZEB*, explicando as diversas noções a este referentes. É também realizado um enquadramento legal dos conceitos com as regulamentações em vigor. Posteriormente é modelado um edifício que será validado com base em auditoria de campo. Este modelo é posteriormente utilizado para quantificar os usos de energia das diversas combinações de parâmetros tecnológicos, fisicamente possíveis. Tal modelação será baseada num modelo do edifício já elaborado por uma equipa certificada de auditoria. Esta modelação e a posterior simulação são realizadas com recurso ao software de simulação *Hourly Analysis Program*. Para obter os resultados pretendidos será selecionado um tipo de sistema de climatização capaz de ter um reduzido uso de energia, simulado com o modelo validado. Com este sistema, e aplicando o planeamento de experiências, pretende obter-se a solução mais viável em termos energéticos. Para o efeito serão feitas as combinações de fatores necessárias e de acordo com a metodologia de Taguchi é obtida a solução ótima.

**Palavras-chave:** metodologia de Taguchi, matriz ortogonal, experiência, fator, ruído, variável resposta.

# Abstract

From a standard system applicable to hotels it is desired to obtain the optimal solution of parameters of this system. For this purpose, a set of technically possible solutions will be analyzed for the air conditioning of a hotel building by varying the physical parameters. The optimal energy-use solution can be obtained from the evaluation of all possible ways, without the need to test all combinations of the parameter variations of the project in question. In fact, Experiment Planning and the Taguchi method allow us to obtain the optimal solution, by studying only a well defined set of all possible ways mention before. The accomplishment of this work will have the following three stages. First, a study and a theoretical approach to the NZEB concept are carried out. A legal framework of the concepts is also carried out with the regulations in current law. After, a building is modeled and will be validated through the energy simulation process. This model will later be used to quantify the energy uses of the various combinations of technological parameters. This modeling will be based on a building model already prepared by a certified audit team. This modeling and the referent simulation will be performed using a simulation software denominated Hourly Analysis Program. To obtain the final results, a type of air conditioning system capable of having a low energy use will be selected, and after it is simulated with the validated model. With this system, and applying the design of experiments, will be sought the most viable energy solution. For this purpose, the number of the necessary factor combination will be made and according to the Taguchi methodology will be obtained the optimal solution.

**Keywords:** Taguchi methodology, orthogonal array, experience, factor, noise, answer.

# Índice

Capítulo 1 - Edifícios nZeb .....	1
1.1. Conceitos nZEB segundo as legislações decretadas .....	2
1.2. Definição nZEB segundo a REHVA.....	3
 Capítulo 2 - Controlo de Qualidade, metodologia de Taguchi .....	5
2.1. Qualidade, um conceito flutuante.....	6
2.2. Controlo da Qualidade, o início de uma nova ciência.....	6
2.3. Método CEP, o método pioneiro.....	7
2.4. Metodologia de Taguchi.....	8
2.4.1. Terminologia da metodologia .....	9
2.4.2. Algoritmo e Ferramentas da metodologia .....	10
 Capítulo 3 - Legislação e software creditado .....	17
3.1. Legislação e regulamentação nacional .....	18
3.2. Apresentação e enquadramento legal do programa aplicado na simulação dinâmica do edifício.....	19
3.3. Esquematização e modo de funcionamento da aplicação .....	20
3.4. Introdução de dados na aplicação.....	21
3.4.1. Bibliotecas de Projetos (Project Libraries) .....	21
3.4.2. Dados climáticos (Weather).....	27
3.4.3. Zonas (Spaces) .....	28
3.4.4. Sistemas (Systems).....	33
3.4.5. Edifícios (Buildings).....	34
 Capítulo 4 - Descrição climática da localização e descrição do imóvel .....	36
4.1. Localização e zona climática.....	37
4.2. Descrição do imóvel.....	39
4.2.1. Soluções construtivas, .....	40
4.2.2. Sistemas de climatização.....	41
4.2.3. Produção de AQS.....	41
4.2.4. Ar novo e Ventilação .....	41



Capítulo 5 - Modelo e Simulação dinâmica .....	42
5.1. Introdução de dados e construção do modelo .....	43
5.2. Dimensionamento das cargas térmicas, simulação do modelo e validação .....	43
5.2.1. Resultados obtidos.....	44
5.2.2. Comparação de resultados e validação do modelo .....	45
Capítulo 6 - Pré-dimensionamento do sistema AVAC idealizado a instalar no Edifício B .....	46
6.1. Ajustamento do caso real ao objetivo do trabalho .....	47
6.2. Descrição do sistema de climatização e potências instaladas .....	47
6.3. Descrição teórica do problema .....	51
6.4. Cálculos efetuados e valores obtidos .....	51
6.4.1. Caudais de Ar.....	52
6.4.2. Caudais de água.....	53
6.4.3. Perdas de Carga.....	53
6.4.4. Potências dos equipamentos .....	54
6.4.5. Potência total instalada no sistema .....	55
6.5. Introdução do Sistema de Climatização no modelo validado e criação de um modelo base para estudo.....	55
Capítulo 7 - Aplicação da Metodologia Taguchi .....	57
7.1. Problema Alvo e Objetivo de estudo.....	58
7.2. Fatores controláveis e níveis assumidos.....	58
7.2.1. Potência específica de ventilação .....	58
7.2.2. Caudal de Ar novo.....	59
7.2.3. Temperatura da água fria à saída do Chiller .....	60
7.3. Seleção e aplicação da matriz ortogonal .....	60
7.4. Fatores de Ruído e níveis assumidos.....	61
7.4.1. Ocupação dos quartos.....	61
7.4.2. Potência de iluminação.....	61
7.5. Plano experimental originado.....	62
7.6. Realização dos ensaios e resultados obtidos .....	63
7.7. Análise dos resultados experimentais obtidos.....	65
7.7.1. Seleção da característica, aplicação dos coeficientes sinal-para-ruído e seleção da experiência mais favorável.....	66

7.7.2. ANOVA, determinação da solução ótima e verificação da influência dos fatores	66
7.8. Validação da solução ótima selecionada e comparação de resultados	68
Capítulo 8 - Análise de resultados e conclusões	69
8.1. Pesquisa e aquisição de <i>know how</i> para a aplicação da metodologia	70
8.2. Validação do modelo do edifício	71
8.3. Aplicação da metodologia ao modelo desenvolvido	71
8.4. Desenvolvimento futuro	73

# Lista de Figuras

Figura 1.1. Esquema representativo do traçado de uma fronteira para o edifício em estudo.....	3
Figura 1.2. Esquema representativo de um exemplo da aplicação do método de cálculo .....	4
Figura 2.1. Esquema representativo de uma carta de controlo .....	8
Figura 2.2. Esquema representativo do processo de controlo.....	9
Figura 2.3. Esquema representativo do processo de controlo com a influencia de ruído .....	10
Figura 2.6. Algoritmo do método de controlo baseado na metodologia de Taguchi [18] .....	15
Figura 3.1 - <i>Display</i> geral na aplicação com os dois principais campos demarcados.....	21
Figura 3.2 - <i>Display</i> do subcampo <i>Schedules</i> .....	22
Figura 3.3 - <i>Display</i> do subcampo <i>Walls</i> .....	22
Figura 3.4 - <i>Display</i> do subcampo <i>Roofs</i> .....	23
Figura 3.5 - <i>Display</i> do subcampo <i>Windows</i> .....	24
Figura 3.6 - <i>Display</i> do subcampo <i>Doors</i> .....	25
Figura 3.7 - <i>Display</i> do subcampo <i>Shades</i> .....	25
Figura 3.8 - <i>Display</i> do subcampo <i>Chillers</i> , especificações gerais .....	26
Figura 3.9- <i>Display</i> do subcampo <i>Boilers</i> .....	27
Figura 3.10 – <i>Display</i> do item <i>Weather</i> .....	28
Figura 3.11 - <i>Display</i> do subcampo <i>Spaces / General</i> .....	29
Figura 3.12 - <i>Display</i> do subcampo <i>Spaces / Internals</i> .....	29
Figura 3.13 - <i>Display</i> do subcampo <i>Spaces / Walls, Windows, Doors</i> .....	30
Figura 3.14 - <i>Display</i> do subcampo <i>Spaces / Roofs, Skylights</i> .....	31
Figura 3.15 - <i>Display</i> do subcampo <i>Spaces / Infiltration</i> .....	31
Figura 3.16 - <i>Display</i> do subcampo <i>Spaces / Floors</i> .....	32
Figura 3.17 - <i>Display</i> do subcampo <i>Spaces / Partitions</i> .....	33
Figura 3.18 - <i>Display</i> do subcampo <i>Systems / General</i> .....	34
Figura 3.19- <i>Display</i> do campo <i>Buildings / Plants</i> .....	35

Figura 3.20- <i>Display</i> do campo <i>Buildings / Systems</i> .....	35
Figura 4.1. Mapa da ilha da Madeira com a localização do imóvel .....	37
Figura 4.2. Representação parcial da ilha a 3 dimensões com a localização do imóvel .....	37
Figura 4.3. Fotografia aérea da localização exata do imóvel .....	37
Figura 4.4 - Pontos representativos das situações típicas de Verão e de Inverno .....	39
Figura 6.1 - Fotografia do edifício em estudo .....	47
Figura 6.2 - Esquema de princípio da instalação de climatização .....	48
Figura 6.3 - Detalhes do esquema de princípio .....	49

# Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Representação de uma matriz experimental de um planeamento de 3 fatores a 2 níveis .....	12
Tabela 2.2 - Representação de uma matriz ortogonal de Taguchi de um planeamento de 3 fatores a 2 níveis.....	13
Tabela 4.1. Dados referentes à localização.....	38
Tabela 4.2. Dados climáticos do local .....	38
Tabela 4.3 - Potências instaladas no imóvel e consumo elétrico faturado no ano de 2014 .....	39
Tabela 5.1 - Cargas térmicas totais inerentes ao modelo concebido .....	44
Tabela 5.2 - Consumo energético total inerente ao modelo concebido .....	44
Tabela 5.3 - Potências instaladas enunciadas no relatório de auditoria .....	45
Tabela 5.4 - Consumo energético total reportado na faturação referente ao ano de 2014 .....	45
Tabela 6.1 - Nomenclatura e especificação de cada tipo de rede .....	49
Tabela 6.2 - Cargas térmicas inerentes ao edifício B .....	49
Tabela 6.3 - Potências necessárias para o tratamento do ar novo insuflado nos dois modos de funcionamento.....	50
Tabela 6.4 - Potências totais necessárias nos dois modos de funcionamento.	50
Tabela 6.5 - Caudal de insuflação total necessário .....	52
Tabela 6.6 - Caudal de retorno total .....	52
Tabela 6.7 - Caudais de água obtidos para cada rede de água .....	53
Tabela 6.8 - Perdas de carga obtidas para cada rede de água.....	54
Tabela 6.9 - Perdas de carga obtidas para cada rede de ar .....	54
Tabela 6.10 - Potências instaladas associadas às bombas .....	54
Tabela 6.11 - Potências instaladas associadas aos ventiladores.....	54
Tabela 6.12 - Potências totais instaladas em bombas e ventiladores .....	54
Tabela 6.13 - Potências totais instaladas no sistema de climatização .....	55
Tabela 6.14 - Consumos energéticos do modelo base referente à situação em estudo.....	56
Tabela 7.1 - Classificação das categorias de SFP de acordo com a	

regulamentação Europeia EN 13779-2007 .....	59
Tabela 7.2 - Matriz ortogonal selecionada para a aplicação da metodologia ...	60
Tabela 7.3 - Matriz ortogonal apresentando os valores assumidos pelos 2 níveis para os 3 fatores.....	60
Tabela 7.4 - Esquema demonstrativo do planeamento experimental.....	62
Tabela 7.5 - Plano experimental do estudo representando os níveis que os fatores e os ruídos irão assumir .....	63
Tabela 7.6 - Plano experimental do estudo com os valores assumidos pelos níveis quer de fatores quer de ruídos .....	63
Tabela 7.7 - Resultado obtidos através dos ensaios 1 e 2, correspondentes à experiência 1 .....	64
Tabela 7.8 - Resultado obtidos através dos ensaios 3 e 4, correspondentes à experiência 2 .....	64
Tabela 7.9 - Resultado obtidos através dos ensaios 5 e 6, correspondentes à experiência 3 .....	64
Tabela 7.10 - Resultado obtidos através dos ensaios 7 e 8, correspondentes à experiência 4 .....	65
Tabela 7.11 - Resumo dos resultados obtidos em função do ensaios .....	65
Tabela 7.12 - Quocientes Sinal- para-Ruído obtidos com a aplicação da fórmula 2.4 .....	66
Tabela 7.13 - Médias dos quocientes relativas a cada fator e a cada nível .....	67
Tabela 7.14 - Níveis assumidos pelos fatores para a solução ótima .....	67
Tabela 7.15 - Valores assumidos pelos níveis determinados para a solução ótima .....	68

# Lista de Siglas e Acrónimos

ANOVA	<i>Analysis of Variance</i>
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
AQS	Águas Quentes Sanitárias
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BC	Bomba de calor
CEP	Controlo Estatístico do Processo
COP	<i>Coefficient of Performance</i>
DOE (1)	<i>Design of Experiments</i>
DOE (2)	<i>Department of Energy</i>
EER	<i>Energy Efficiency Ratio</i>
EPBD	<i>Energy Performance of Buildings Directive</i>
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
EU	União Europeia
HAP	<i>Hourly Analysis Program</i>
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
nZEB (1)	<i>Nearly Zero Energy Buildings</i>
nZEB( 2)	<i>Net Zero Energy Buildings</i>
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS	Regulamento de Desempenho Energéticos dos Edifícios de Comércio e Serviços
RHE	Regulamento de Desempenho Energéticos dos Edifícios de Habitação
RHEVA	Federation of European Heating Ventilation and Air Conditioning Associations
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios
SCE	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
SN	<i>Sinal to Noise</i>
UTAN	Unidade de Tratamento de Ar Novo
VC's	Ventiloconvectores

# Lista de Símbolos

$C_p$	Calor específico
$DB$	Dry Bulb Temperature
$h$	Entalpia
$H_r$	Humidade relativa
$LIC$	Limite Inferior de Controlo
$LSC$	Limite Superior de Controlo
$L(y)$	Função perda
$\dot{m}$	Caudal mássico
$m$	Coluna da Matriz Experimental
$n$	Linha da Matriz Experimental
$OAn$	Orthogonal Array
$P$	Pressão
$\dot{Q}$	Potência térmica
$R$	Resposta
$T$	Temperatura
$V_i$	Variável intrínseca de controlo
$WB$	Wet Bulb Temperature



# Capítulo 1

## Edifícios nZeb

É conhecimento de censo comum que desde o início da revolução industrial século XVIII, o Homem tem vindo a utilizar em larga escala e ineficientemente, grandes quantidades de energia.

No panorama nacional os edifícios representam 30% do consumo energético total e 60% do consumo elétrico. Apesar de não apresentar uma total analogia ao panorama geral do mundo ocidental, este panorama nacional é idêntico e representa bem o grande consumo energético por parte dos edifícios. De tal modo ao longo das últimas décadas, inúmeros países têm vindo a decretar legislações que visam incrementar medidas de melhoria na envolvente dos edifícios e que visam também o aumento da eficiência energética dos equipamentos que nestes operam.

Em tais publicações por vezes surge um ambíguo conceito denominado pelo acrónimo nZEB, o qual assume duas possíveis definições. Neste capítulo são primeiramente apresentadas tais definições possíveis de nZEB, bem como as entidades e legislações que as originaram.

Seguidamente é apresentada uma definição do conceito apresentada pela RHEVA. Tal visa originar uma definição única de nZEB e apresenta também, uma coerente metodologia que determina se um edifício pertence ou não pertence a esta gama.

## 1.1. Conceitos nZEB segundo as legislações decretadas

Na década de 90 do passado século com a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas é em 1997 assinado o protocolo de Quioto. Tal incentiva e obriga até ao ano de 2012, a grande maioria dos seus assinantes a reduzir em 5,2%, em relação ao ano de 1990, as emissões de gases que desenvolvem o efeito estufa.

Contudo tais metas nunca foram atingidas e contrariamente ao esperado, inúmeros países aumentaram as suas emissões de gases poluentes.

No entanto os países pertencentes à União Europeia têm dado a devida importância a este grave problema.

Assim em 2002 a Comissão Europeia publicou a primeira diretiva direcionada às reduções de consumos e à eficiência energética nos edifícios denominada *Energy Performance of Buildings Directive* 2002/91/EC.

Tal publicação tem como principal objetivo a melhoria do desempenho energético dos edifícios, contemplando variados aspetos como por exemplo, os diferentes climas dos estados membros, as exigências de qualidade do ar interior e de conforto térmico referentes aos espaços interiores, entre muitas outras não menos importantes.

Em 2010 esta diretiva foi reformulada e assim denominada de EPBD 2010/31/EU. Tal foi ajustada de modo a alcançar novas exigências quanto às emissões e às reduções dos consumos.

Nesta reformulada diretiva o aspeto mais relevante é o facto de a Comissão Europeia obrigar até 2020 todos os edifícios pertencentes aos estados membros a serem edifícios com necessidade energéticas quase nulas ou na nomenclatura Inglesa, *nearly Zero Energy Buildings*, nZEB<sup>(1)</sup>.

Em tal publicação é apenas evidenciada a metodologia para o cálculo do desempenho energético dos edifícios, deixando ao critério de cada Estado-membro algumas das especificações e requisitos exigidos a um edifício para se tornar num edifício com necessidades energéticas quase nulas. Tal decisão da Comissão gerou então uma grande ambiguidade em torno deste conceito.

Como já referido toda a ambiguidade em torno deste conceito não é só gerada pela diretiva Europeia.

Publicações do *Department of Energy*, entidade reguladora energética dos Estados Unidos da América, originaram um novo conceito para o acrónimo nZEB, *net Zero Energy Buildings* nZEB<sup>(2)</sup>. Como o próprio nome refere, este conceito difere do seu homónimo europeu pois para esta entidade um nZEB trata-se de um edifício com necessidades líquidas de energia

nulas. Deste modo o balanço entre a energia primária consumida e a energia produzida pelo edifício através de fontes renováveis deve ser nulo.

## 1.2. Definição nZEB segundo a REHVA

Analisando estas duas possíveis definições de nZEB inúmeras questões poderão surgir, como por exemplo que pressupostos estão na delimitação da fronteira do edifício em estudo, entre muitas outras.

De modo a clarificar todo este tema a entidade Europeia REHVA apresenta em uma das suas publicações [9], uma nova forma e metodologia coerente para definir tal conceito.

De acordo com tal artigo a definição de nZEB deve ser baseada no conteúdo da diretiva Europeia. Um nZEB trata-se de um edifício com necessidades energéticas quase nulas e quando existentes, cobertas em toda a medida possível por fontes renováveis.

As reduzidas necessidades energéticas destes edifícios não devem ultrapassar valores de referência adequados ao tipo e à atividade do edifício.

Também de acordo com tal publicação a fronteira de um edifício nZEB deve contemplar todas as componentes energéticas consumidas no edifício, aquecimento, arrefecimento, ventilação, águas quentes sanitárias, iluminação e equipamentos.

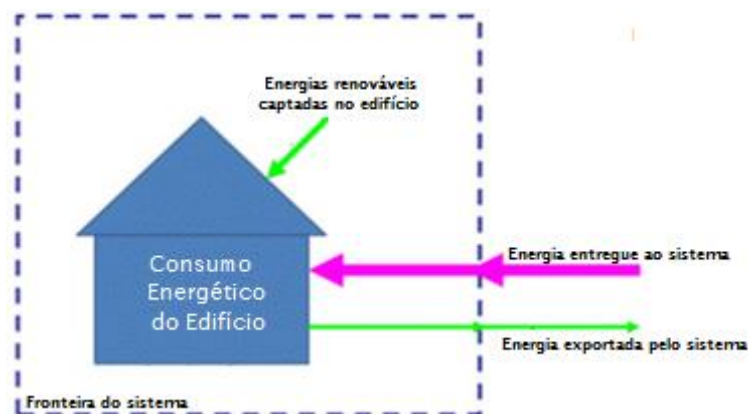


Figura 1.1. Esquema representativo do traçado de uma fronteira para o edifício em estudo

De modo a determinar estas necessidades energéticas, esta publicação apresenta um método de cálculo simples e conciso para determinar as necessidades energéticas do edifício. Tal método trata-se de um simples balanço energético realizado num pré-determinado período de tempo, entre os fluxos energéticos que entram e saem do sistema.

Energia entregue ao sistema = (consumo energético do edifício + energia exportada pelo sistema) – (energias renováveis captadas no edifício)

Expressão 1.1

Em seguida é apresentado um exemplo de uma aplicação deste método.

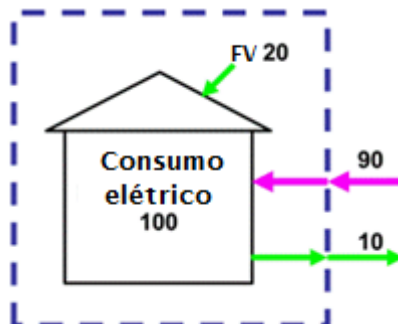


Figura 1.2. Esquema representativo de um exemplo da aplicação do método de cálculo

Um edifício utiliza 100 unidades de energia por ano. Através de fontes renováveis este produz também mais 20 unidade de energia. Contudo, 100 unidades energéticas são consumidas e 10 são exportadas para fora da fronteira.

$$\text{Energia entregue ao sistema} = (100 + 10) - 20 = 90$$

Expressão 1.2

Assim como representado na figura 1.2 e determinado através da equação 1.2 as necessidades energéticas do edifício são de 90 unidades anuais.

# Capítulo 2

## **Controlo de Qualidade, metodologia de Taguchi**

Primeiramente neste presente capítulo será introduzido o conceito de qualidade.

Neste sentido é também apresentado o conceito de processo de controlo da qualidade, bem como a sua evolução histórica.

Num modo meramente demonstrativo é também apresentado o método estatístico pioneiro utilizado no controlo de qualidade vulgarmente denominado Controlo Estatístico do Processo.

Finalmente é apresentada, bem como serão detalhados os processos da robusta metodologia de controlo da qualidade que será aplicada neste trabalho. Tal é denominada metodologia de Taguchi em honra do seu criador, o Engenheiro e Estatístico Nipónico Dr. Genichi Taguchi.

## **2.1. Qualidade, um conceito flutuante**

A etimologia da palavra qualidade provem do Latim “Qualitate” que significa propriedade, atributo ou ainda a capacidade de distinção de pessoas ou objetos.

Quando se pensa neste conceito de qualidade verifica-se que está presente em inúmeros e diversos contextos, qualidade de vida, qualidade de um serviço, qualidade de um produto entre muitos outros. A qualidade não é um conceito fisicamente concreto, mas é deveras visível quando existe.

“Não sei ao certo o que é a qualidade, mas eu a reconheço quando a vejo”. [14]

Esta afirmação exhibe em concreto a ambiguidade deste conceito. É impossível criar uma definição concreta e exata do que é qualidade, pois tal conceito varia de acordo com o contexto em que está inserido. Mesmo dentro de um igual contexto, assume inúmeras vezes definições diferentes, penderes de diversos fatores.

Adotando como exemplo o contexto de produção, a qualidade associada a um produto fabricado poderá variar consoante inúmeros aspetos. Basta apenas inquirir uma população de consumidores de um mesmo produto, para se verificar que a opinião de cada um, divergirá certamente da dos demais membros da população.

## **2.2. Controlo da Qualidade, o início de uma nova ciência**

Antes do início da revolução o nível de produção era reduzido, sendo o nível de qualidade do produto estipulado pelo consumidor e o controlo da qualidade do mesmo, exercido genericamente pelo fabricante.

Com o desenvolvimento da revolução industrial e com a conseqüente produção em série, o controlo da qualidade começou a ser exercido por entidades exteriores aos processos de fabrico. Começou também a ser realizado através de métodos diferentes, mais inovadores, geralmente baseados em parâmetros estatísticos. No decorrer do passado século novas noções e conceitos foram surgindo com vários estudos sobre tais processos de controlo.

Na década de 20 do século passado o Engenheiro, Físico e Estatístico Norte-Americano Walter Andrew Shewraht, considerado por muitos autores o “Pai” do controlo estatístico da qualidade, criou alguns modelos e parâmetros de controlo da qualidade de produtos produzidos em larga escala, sendo o mais conhecido denominado com o acrónimo CEP.

Após a 2ª Grande Guerra, com a destruição parcial do Japão, as forças aliadas verificaram que as redes telefónicas japonesas eram rudimentares e totalmente insuficientes para as

necessidades do país. De modo a resolver tal problema os aliados criaram um centro de investigação, análogo ao já existente nos Estados Unidos, denominado *Electrical Communication Laboratories*, o qual foi chefiado pelo Dr. Genichi Taguchi.

Nas seguintes décadas Taguchi desenvolveu variados trabalhos não só na área das telecomunicações, mas em toda a área do controlo da qualidade em geral, o que lhe proporcionou a obtenção de 4 conceituados prémios *Deming*.

Desses estudos resultou uma metodologia de controlo de qualidade totalmente inovadora e algumas novas definições e conceitos. Mundialmente conhecida como Metodologia de Taguchi, este conjunto de procedimentos visa melhorar as características de um processo produtivo, através da identificação e controlo dos seus fatores, de modo a que estes minimizem a variação do produto.

Na década de 70 o Engenheiro e Consultor de negócios romeno Joshep Moses Juran, cria um conceito de gestão da qualidade denominado a “A Trilogia da Qualidade”. Este plano é caracterizado por ser o primeiro plano a associar a qualidade ao sucesso das estratégias empresariais e também por dividir a qualidade em três fases, melhoria, planeamento e controle.

Nos tempos correntes a importância que a qualidade do produto atingiu é inquestionável [14]. A progressiva evolução e globalização dos mercados a nível mundial têm induzido a uma melhor informação dos consumidores, possibilitando-lhes um leque mais alargado de produtos, aumentando assim a concorrência entre os produtores.

## **2.3. Método CEP, o método pioneiro**

Este método pioneiro tem como principal filosofia que é melhor e menos dispendioso ao longo de um processo de fabrico, detetar onde ou qual o processo que causa erros e aplicar ações corretivas, do que apenas eliminar o produto defeituoso no final do processo.

Na verdade, tal método de controlo tem como objetivo possibilitar um controlo realizado pelo próprio operador durante o processo e em tempo real, o que promove um controlo eficaz da qualidade.

Genericamente neste método de controlo o produto está em conformidade se este apresentar valores referentes aos parâmetros em controlo, dentro de um intervalo previamente definido.

Num modo mais representativo, existem sempre dois limites de especificações um superior outro inferior (LSC e LIC), caso o produto se encontre no intervalo demarcado entre estes dois limites, o produto é aceite.

O produto será considerado defeituoso e consequentemente corrigido, se o valor que este revela para a característica pré-definida, for superior ao limite superior de especificações ou se for inferior ao limite inferior de especificações.

De modo a uma possível observação do controlo, regularmente os resultados são registados graficamente, em gráficos denominados geralmente por cartas de controlo. Uma carta de controlo é genericamente construída com 3 retas representativas, como é apresentado na seguinte figura.

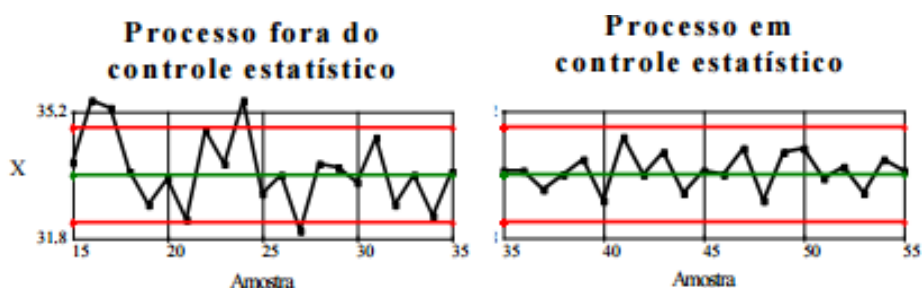


Figura 2.1. Esquema representativo de uma carta de controlo

A anterior figura é uma representação de uma carta de controlo com as retas representativas dos limites de controlo. Tal carta está separada em duas fases. Numa primeira verificam-se que existem valores pontuais fora do intervalo delimitado pelos limites de controlo. Tal origina um processo fora do controlo estatístico o qual necessita de ações corretivas. Numa segunda fase, já todos os valores representativos da amostra estão localizados no interior do intervalo. Deste modo tal processo designa-se por processo em controlo estatístico.

## 2.4. Metodologia de Taguchi

O método convencional a montante apresentado atua somente durante o processo a controlar, sendo assim é denominado um método "em linha". Deste modo, recorre por vezes a soluções ou correções a aplicar mais rígidas e dispendiosas, o que poderá levar ao menor retorno económico do processo.

Genichi Taguchi propõe e desenvolve uma metodologia que a visa abordar o processo de produção e o produto resultante desde a fase de inicial de projeto. Assim esta é uma metodologia denominada "fora de linha".



De modo a fomentar e a sustentar todo este critério de controlo Taguchi criou uma nova definição de qualidade.

"Segundo Taguchi a qualidade é medida pelo desvio que uma característica funcional apresenta em relação ao valor esperado da mesma". [18].

Em tal afirmação reflete-se que para Taguchi a qualidade é antónimo de variabilidade.

Deste modo o objetivo de toda esta metodologia é minimizar as variações ocorridas no processo de produção de um produto.

Taguchi não estipula um método exato para efetuar o controlo da qualidade. A metodologia criada, trata-se sim de um conjunto ferramentas matemáticas e de um conjunto de procedimentos que poderão ser executados.

Contudo a metodologia fomenta critérios para a seleção dos procedimentos a serem executados e expõe também, a ordem sequencial da execução de tais procedimentos.

#### *2.4.1. Terminologia da metodologia*

A metodologia de Taguchi adota uma terminologia e uma nomenclatura próprias. Na verdade, a sua exposição é de extrema relevância para uma boa explicitação de todos os conceitos e de toda a metodologia em geral.

Os termos genericamente aplicados são:

Fator – É uma variável cujo valor que assume tem uma influência relevante no valor da resposta;

Nível – É o valor que cada um dos diferentes fatores assume para as diferentes experiências;

Resposta – Variável cujo valor é originado e determinado por uma disposição definida de fatores com níveis pré-estabelecidos;

Característica da Qualidade – Medida de avaliação das variáveis resposta.

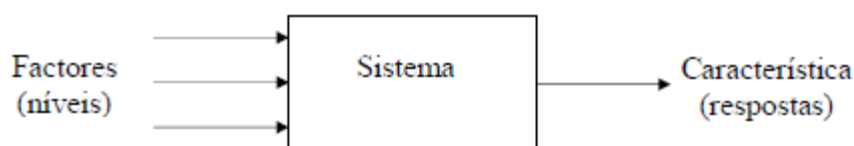


Figura 2.2. Esquema representativo do processo de controlo

Para além destes conceitos expostos, existem ainda fatores externos ao processo não representados no esquema a montante apresentado. Tais fatores são variáveis não controláveis durante a produção as quais causam perturbações no processo.

À ação combinada destas variáveis dá-se o nome de perturbação ou ruído.

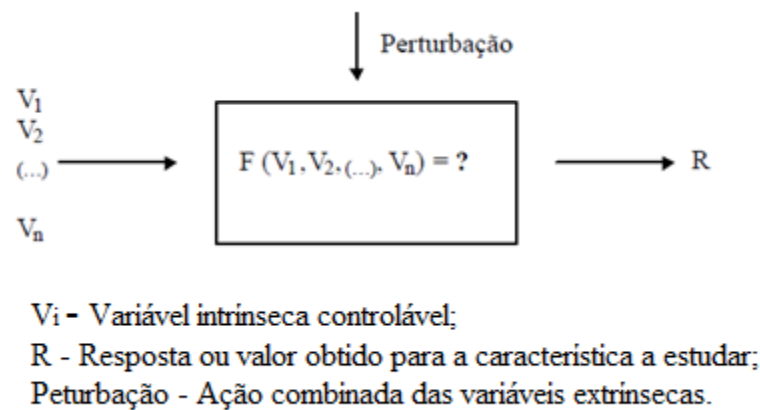


Figura 2.3. Esquema representativo do processo de controle com a influencia de ruído

Se as variáveis intrínsecas ao processo são controláveis, bastava apenas controlar os fatores para níveis alvo para produzir um produto com variância nula.

Na realidade a situação é bem mais complexa, pois a existência de ruído irá perturbar e descontrolar a relação funcional e controlável entre as variáveis intrínsecas.

Sendo na verdade impossível eliminar na sua totalidade o ruído de um processo, esta metodologia visa utilizar a redução da variabilidade originada pelo ruído, de modo a garantir a qualidade do produto.

#### 2.4.2. Algoritmo e Ferramentas da metodologia

Na aplicação da metodologia existem 4 etapas sequenciais que obrigatoriamente têm de ser executadas respeitando a seguinte ordem:

- 1) Planeamento da experiência: Definição do objetivo e identificação de variáveis;
- 2) Realização dos ensaios: Definir o número de experiências;
- 3) Tratamento de dados: Determinar a condição ótima e influência dos fatores nesta condição;
- 4) Experiência confirmatória: Validação de resultados.

Com base neste conjunto de etapas será traçado um possível algoritmo para a aplicação da referida metodologia.

Tal conjunto de tarefas e processos será o algoritmo aplicado neste trabalho com vista a atingir os objetivos pretendidos. Para a execução de tal Taguchi sugere a utilização de algumas ferramentas estatísticas.

#### 2.4.2.1. PLANEAMENTO DE EXPERIÊNCIAS - DOE (1)

O planeamento de experiências é um processo estatístico, que como o próprio nome faz referência, consta em planear e executar experiências de modo a observar e registar os resultados finais.

Na verdade, uma experiência trata-se de um teste, no qual se efetuam de forma deliberada alterações estipuladas aos níveis assumidos pelos fatores, com o conciso objetivo de observar as transformações que ocorrem na variável resposta.

De modo a organizar e detalhar as experiências a realizar, neste método estatístico é desenhada uma matriz ( $n \times m$ ) denominada matriz experimental. Nesta matriz a cada coluna ( $m$ ) corresponde um fator, e a cada linha ( $n$ ) corresponde uma disposição única de níveis atribuídos aos fatores, que caracteriza cada experiência.

Determinado o número de fatores e o número de níveis que estes fatores poderão assumir é possível então determinar o número total de experiências existentes. Deste modo é então possível a construção da matriz experimental. O conjunto de todas as experiências a efetuar denomina-se por experiência fatorial completa e o número total de experiências é determinado através da seguinte relação:

$$n^{\circ} \text{ experiências} = n^{\circ} \text{ de níveis}^{n^{\circ} \text{ de fatores}}$$

Expressão 2.1

A figura 2.4 é um exemplo de uma matriz de um planeamento experimental. Tal planeamento é constituído por 3 fatores, sendo que estes podem assumir 2 níveis, 0 ou 1.

Tabela 2.1 - Representação de uma matriz experimental de um planeamento de 3 fatores a 2 níveis

Nº experiência	Nº coluna (fatores)		
	1	2	3
1	0	0	0
2	0	0	1
3	0	1	1
4	1	1	1
5	0	1	0
6	1	0	0
7	1	1	0
8	1	0	1

Aplicando a expressão 2.1 a tal exemplo onde os 3 fatores assumem 2 possíveis níveis, são necessárias 8 experiências de modo a que se contabilizem todas as combinações possíveis.

#### 2.4.2.2. PLANEAMENTO DE EXPERIÊNCIAS DE TAGUCHI, MATRIZES ORTOGONAIS

A montante referido, a experiência fatorial completa contempla uma combinação de todos os fatores a todos os possíveis níveis. De modo a avaliar o efeito da variação simultânea dos níveis associados aos fatores é necessária uma abordagem de todas as possíveis experiências.

Consequentemente este método é de acessível aplicabilidade apenas quando se analisa um pequeno número de fatores.

Para reduzir o número elevado de experiências a metodologia desenvolve a ferramenta denominada Planeamento de Experiências de Taguchi.

Utilizando um critério baseado em matrizes ortogonais, Taguchi simplifica o processo convencional de planeamento de experiências, reduzindo o número total de experiências bem como promove a normalização de matrizes.

Na verdade, tal método reduz o número de experiências contabilizando apenas um número de experiências que garante robustez ao processo de controlo. Para que tal ocorra, o número de experiências deve ser igual ou superior ao número de graus de liberdade relativos ao processo.

$$\text{Graus de liberdade} = 1 + n^{\circ} \text{ fatores} \times (n^{\circ} \text{ níveis} - 1)$$

Expressão 2.2

A seleção de tais experiências é realizada de forma a que cada fator assuma os possíveis níveis o mesmo número de vezes. Este número de vezes que os valores se repetem é contabilizado na totalidade dos ensaios da matriz. Deste modo origina-se assim uma matriz experimental do tipo ortogonal.

Ajustando tais condições ao planeamento experimental de 3 fatores a 2 níveis anteriormente apresentado é possível então criar uma matriz ortogonal de Taguchi.

Aplicando a expressão 2.2 verifica-se então que são necessárias pelo menos 4 experiências para que o processo de controlo seja robusto.

Tabela 2.2 - Representação de uma matriz ortogonal de Taguchi de um planeamento de 3 fatores a 2 níveis

Nº experiência	Nº coluna (fatores)		
	1	2	3
1	0	0	0
2	0	1	1
3	1	0	1
4	1	1	0

A matriz a montante apresentada é uma matriz que obedece aos critérios anteriormente impostos. Apresenta ortogonalidade e apresenta também o número de experiências mínimo que garante robustez ao processo.

Na verdade, esta é uma matriz padronizada por Taguchi, e será esta a matriz a utilizar para o desenvolvimento deste estudo.

#### 2.4.2.3. FUNÇÃO PERDA

Função idealizada por Taguchi a qual representa a perda associada ao desvio do valor alvo do produto, em função do valor medido da característica.

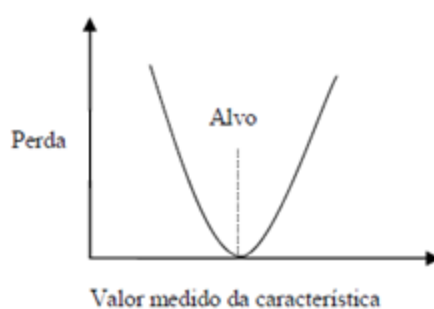


Figura 2.7. Representação gráfica Função Perda [20]

Sucintamente esta é uma função que apresenta a perda de qualidade que é induzida num produto, em função do desvio apresentado por este, em relação ao valor alvo da característica.

Segundo tal função o valor que a perda de qualidade assume é proporcional ao quadrado do desvio apresentado, sendo assim expressa por:

$$L(y) = k (y - y_0)^2$$

Expressão 2.3

Onde:

$L(y)$  – valor da função;

$k$  – Constante de proporcionalidade;

$y$  - Valor apresentado pelo produto para a característica em avaliação;

$y_0$  - Valor alvo.

#### 2.4.2.4. SN - QUOCIENTES-PARA-RUÍDO

É denominada ruído a variável ou o conjunto de variáveis não controláveis, que causam perturbações no decorrer do processo. Na realidade tais perturbações são desvios ocorridos no processo que originam variâncias e conseqüentemente decréscimo de qualidade.

Assim com base na função perda Taguchi concebeu um critério denominado Quocientes Sinal-para-ruído ou em inglês *Sinal-to-noise*. Tais quocientes têm como objetivo minimizar a função perda.

Existem 3 diferentes tipos de quocientes SN. As expressões seguintes apresentam os 3 tipos de quocientes, aplicados aos 3 tipos possíveis de característica da qualidade.

Valor alvo é o melhor:

$$SN = 10 \log_{10}(\mu^2/\sigma^2)$$

Expressão 2.3

O menor é o melhor (quanto menor melhor):

$$SN = -10 \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum y_i^2 \right)$$

Expressão 2.4

O maior é melhor (quanto maior melhor):

$$SN = -10 \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum \frac{1}{y_i^2} \right)$$

Expressão 2.5

#### 2.4.2.5. ALGORITMO DO MÉTODO E MODO DE APLICAÇÃO

A partir das 4 etapas referidas no início deste subcapítulo e com a utilização destas 4 ferramentas matemáticas é possível então delinear um algoritmo de um método de controlo baseado nesta metodologia de Taguchi. Tal é representado na figura seguinte.

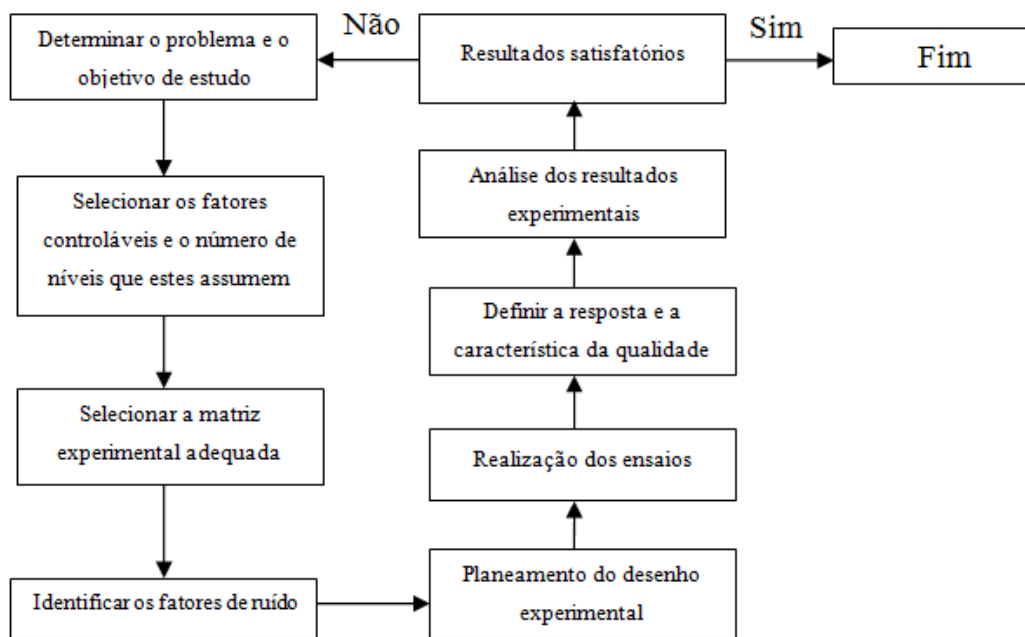


Figura 2.4. Algoritmo do método de controlo baseado na metodologia de Taguchi [18]

O referido método de controlo de qualidade é iniciado com a tarefa de determinar o problema alvo. Tal será o objeto de estudo em torno do qual que se irá desenvolver todo o método.

A segunda ação deste método de controlo é a seleção dos fatores a controlar e do número de níveis que estes poderão assumir.

Baseado neste número de fatores e níveis, posteriormente é necessária a escolha da matriz ortogonal experimental a aplicar.

Com a matriz experimental traçada é necessário identificar as variáveis de ruído, as quais irão originar variância no processo. A acoplação de tais variáveis à matriz ortogonal origina então um desenho experimental do processo.

Com o desenho experimental elaborado é possível então a concretização dos ensaios e obter as respetivas respostas.

A seguinte função será determinar qual a característica da qualidade que se adequa ao tipo de processo e de produto a controlar. Baseada nesta característica é então selecionado o tipo de quociente sinal-para-ruído a ser aplicado neste método.

Aplicado a equação referente ao quociente sinal-para-ruído a todos os ensaios e de acordo com a característica do mesmo é possível então selecionar qual das experiências testadas é que apresenta a resposta mais favorável neste método de controlo qualidade.

Contudo para determinar qual a solução ótima é necessário aplicar um método estatístico

denominado Análise de Variância, o qual irá analisar as médias dos coeficientes sinal-para-ruído. Com a análise realizada é então possível determinar qual a solução ótima, ou seja, o conjunto de fatores para o qual a influência de ruído gera menos variabilidade na variável resposta.



# Capítulo 3

## Legislação e software creditado

Em 2010 a Comissão Europeia publicou a diretiva em vigor na presente data, direcionada às reduções de consumos e à eficiência energética nos edifícios, denominada EPBD 2010/31/EU, *Energy Performance of Buildings Directive*.

Em Portugal a transposição desta diretiva para a legislação nacional ocorreu em 2013. A referente transposição resultou na criação de uma nova legislação relativa ao consumo energético por parte dos edifícios.

No presente capítulo, é apresentada a nível nacional a legislação decretada anteriormente à transposição da diretiva já referida. Posteriormente é apresentada a diretiva e são apresentadas as regulamentações decretadas com a introdução de tal na legislação nacional.

Neste seguimento é apresentado um programa informático de simulação energética bem como o seu *modus operandi*, denominado *Hourly Analysis Program*, comumente apelidado pelo acrónimo HAP.

A referida aplicação obedece aos parâmetros exigidos pela legislação a jusante exposta e tal é vulgarmente utilizada no panorama comercial. Na verdade, será esta aplicação a utilizar de modo a alcançar os objetivos pretendidos neste trabalho.

### **3.1. Legislação e regulamentação nacional**

No panorama nacional o primeiro regulamento legal que impôs requisitos à construção e projeção de edifícios de modo a salvaguardar as condições de conforto térmico sem consumos energéticos excessivos, foi intitulado Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios vulgarmente denominado pelo acrónimo RCCTE.

Este marco significativo na melhoria da construção em Portugal data do ano de 90 do século passado e foi aprovado dia 6 de Fevereiro pelo Decreto-Lei 40/90.

Na década de 80, raros eram os imóveis que dispunham de meios ativos de climatização dos espaços interiores. Contudo no final da referida década observou-se uma inclusão bastante expressiva de sistemas ativos de climatização. Na verdade, verificou-se um grande aumento do número de novos edifícios quer de serviços quer residenciais, a serem projetados com recursos a equipamentos ativos de climatização.

Devido a tal facto o regulamento decretado visava a limitação dos consumos dos edifícios, não contemplando ocasionalmente, algumas exigências objetivas no âmbito da qualidade térmica da envolvente dos edifícios.

No ano de 1998 foi emitido regulamento denominado por Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos edifícios, vulgarmente denominado pelo acrónimo RSECE. Tal regulamento foi publicado em Decreto – Lei nº 188/98 e emitido a 7 de Maio.

Tal regulamentação tinha como principal objetivo introduzir medidas de racionalização energética fixando valores máximos de potências para os sistemas de climatização a instalar nos edifícios.

Em 2002 dá-se a publicação da diretiva europeia EPBD 2002/91/EC e em 2006 a consequente integração desta na legislação portuguesa.

Tal transposição originou grandes modificações na legislação anteriormente em vigor. Na verdade, a maior inovação foi a criação de uma nova regulamentação denominada Sistema de Certificação Energética nos Edifícios promulgada em Decreto-Lei 78/2006.

É também de realçar que esta transposição levou à revogação dos anteriores e à edição de novos regulamentos RCCTE e RSECE, os quais foram publicados nos Decreto-Lei 79/2006 e Decreto-Lei 80/2006 respetivamente, ambos publicados a 4 de Abril.

Num modo genérico esta diretiva e a demais regulamentações publicadas em 2006 divergem das primeiras versões pois evoluíram numa direção de maior exigência.

Em 2010 com a publicação da nova diretiva europeia denominada EPBD 2010/31/EU e com a sua integração na legislação portuguesa em 2013, cria-se uma nova regulamentação que substitui a anterior.

Esta revisão dos regulamentos resultou na emissão do Decreto-Lei nº118/2013 publicado a 20 de Agosto, que se encontra em vigor na presente data.

Tal decreto origina um único diploma que reúne o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios denominado pelo acrónimo SCE, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços denominado pelo acrónimo RECS e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação denominado pelo acrónimo REH.

A nova legislação nacional difere então da anterior em vários aspetos a seguir apresentados.

Primeiramente a nova estruturação e a união de 3 regulamentos distintos no mesmo diploma. Esta reestruturação tem como principais objetivos promover a harmonia de conceitos dos diferentes regulamentos e promover também uma maior facilidade de interpretação por parte dos seus utilizadores.

Verifica-se a divisão entre o contexto de aplicação do RECS e contexto de aplicação do REH, o primeiro para grandes edifícios de comércio e serviços o outro para pequenos edifícios habitacionais

Além das modificações claras na estrutura e organização, a regulamentação faz uma atualização dos requisitos de qualidade térmica e tal introduz novos requisitos de eficiência energética para os tipos de sistemas que operam nos edifícios.

Um maior incentivo é manifestado, quanto à utilização de sistemas passivos de climatização nos edifícios com vista à otimização energética dos mesmos, reduzindo assim o recurso aos sistemas ativos.

Genericamente esta nova regulamentação dirige-se num sentido de melhoria e promoção da eficiência energética de todos os tipos de edifícios em Portugal, criando instrumentos e metodologias coerentes para o efeito.

### **3.2. Apresentação e enquadramento legal do programa aplicado na simulação dinâmica do edifício**

O RSECE impõe que a simulação dinâmica referente aos edifícios terá que ser executada com recurso a programas informáticos de simulação multizona, reconhecidos pela norma ASHRAE 140:2004 [9].

Entre a vasta lista de programas reconhecidos por tal norma encontra-se um programa desenvolvido pela organização multinacional Carrier, denominado *Hourly Analysis Program*, vulgarmente denominado pelo acrónimo HAP. É de realçar que só posteriormente à edição desta norma é que o programa foi credibilizado por tal e somente a versão 4.31 e logicamente as versões ulteriores, o foram.

De acordo com a alínea tt) do artigo 2 do Decreto-Lei nº118/2013, na aplicação do SCE entende-se por Simulação Dinâmica, “a previsão de consumos de energia correspondentes ao funcionamento de um edifício e respetivos sistemas energéticos que tome em conta a evolução de todos os parâmetros relevantes com a precisão adequada, numa base de tempo pelo menos horária, para diferentes zonas térmicas e condições climáticas de um ano de referência”.

Sendo o HAP como o próprio nome refere um programa de análise em base horária, está assim em conformidade com a legislação em vigor na presente data.

Genericamente trata-se de um software destinado ao cálculo de cargas térmicas que realiza um completo processo de simulação, o qual vai desde a determinação da carga térmica de um espaço até à possibilidade de avaliar uma eventual solução de climatização.

Tal software utiliza métodos para o cálculo de sistemas de AVAC expostos em regulamentações e normas editadas por diversas entidades creditadas, entre as quais se destacam:

- U.S. Federal Regulations for Energy Simulation;
- ASHRAE 90.1 - 2001 Software Requirements for the ECB Method (Energy Cost Budget);
- ASHRAE 140 - 2001 Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs

### **3.3. Esquematização e modo de funcionamento da aplicação**

Referido anteriormente a aplicação tem como principal finalidade a determinação das cargas térmicas de um espaço e a posterior avaliação de eventuais soluções de climatização quer a níveis energéticos quer a níveis económicos.

De modo a alcançar os resultados pretendidos é necessária a execução de um conjunto de etapas sequenciais de introdução de dados no programa.

Primeiramente de modo a uma sucinta esquematização da aplicação é apresentado o *display* principal da aplicação.

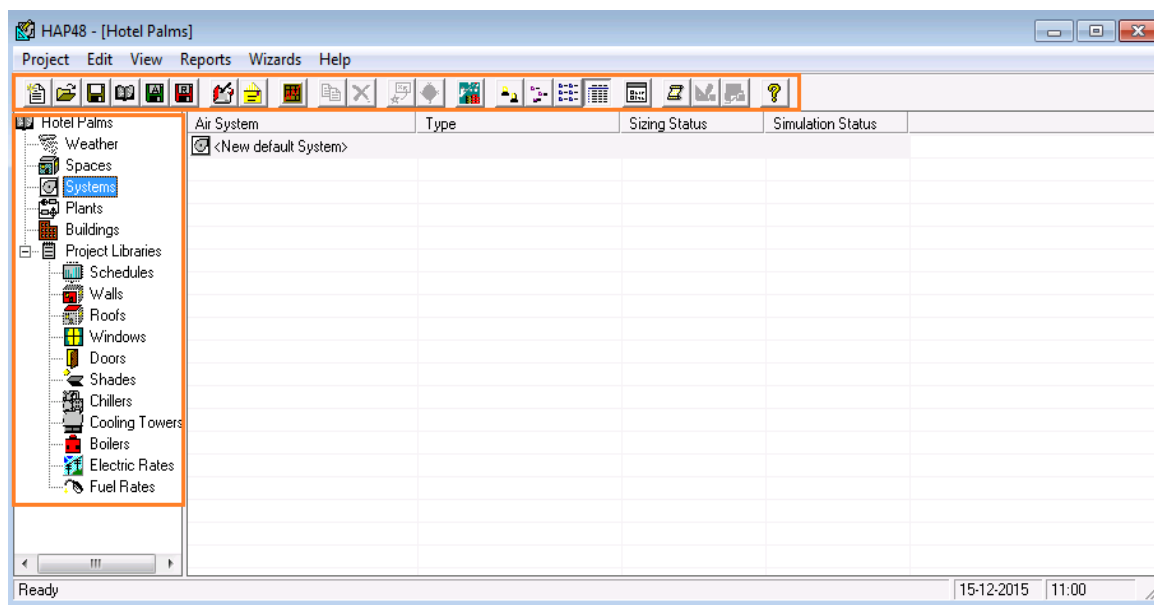


Figura 3.1 - *Display* geral na aplicação com os dois principais campos demarcados

Como representado na figura anterior, nesta fase inicial o programa apresenta genericamente dois campos, um de execução de funções, outro de introdução de dados.

O campo de introdução de dados é apresentado através de uma estrutura em “árvore”, de modo a diferenciar as categorias existentes de dados a introduzir na aplicação.

O campo de execução de funções é composto por um simples conjunto de botões dispostos numa típica barra de ferramentas.

### 3.4. Introdução de dados na aplicação

Como já referido todo o processo de introdução de dados referentes ao edifício a simular é realizado no campo de introdução de dados. Sendo possível observar na figura a montante representada, tal campo está dividido em 5 distintos itens.

#### 3.4.1. Bibliotecas de Projetos (*Project Libraries*)

Como o próprio nome indica trata-se da biblioteca de dados de todo o projeto. Apesar de se encontrar em último lugar da lista é neste campo que se introduz grande parte dos dados referentes ao espaço. Por sua vez tal campo encontra-se dividido em diversos subcampos de introdução de dados. Diferem entre si de acordo com a origem e o tipo de dados a introduzir em cada um.

### 3.4.1.1. HORÁRIOS (SCHEDULES)

Neste subcampo são introduzidos todos os horários de utilização do edifício relativos à ocupação, iluminação e a utilização de equipamentos no interior do espaço.

Sendo o HAP um programa em base horária, a introdução destes horários contempla a inserção de dados relativos a cada hora do dia para um total de 24 horas diárias, como é representado na seguinte figura.

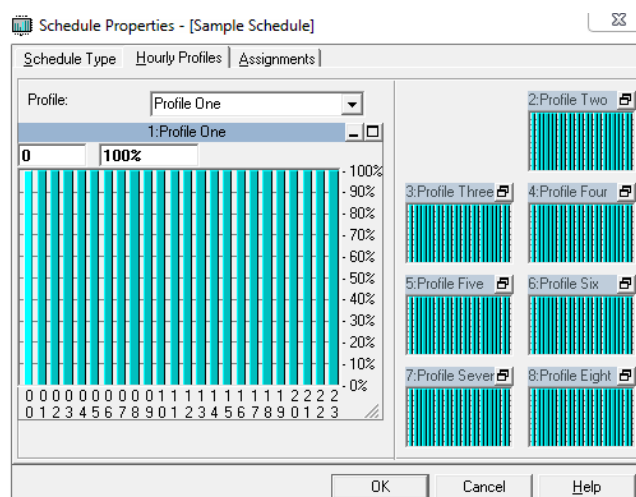


Figura 3.2 - Display do subcampo Schedules

### 3.4.1.2. PAREDES (WALLS)

Neste subcampo são introduzidos os dados relativos aos vãos opacos do edifício.

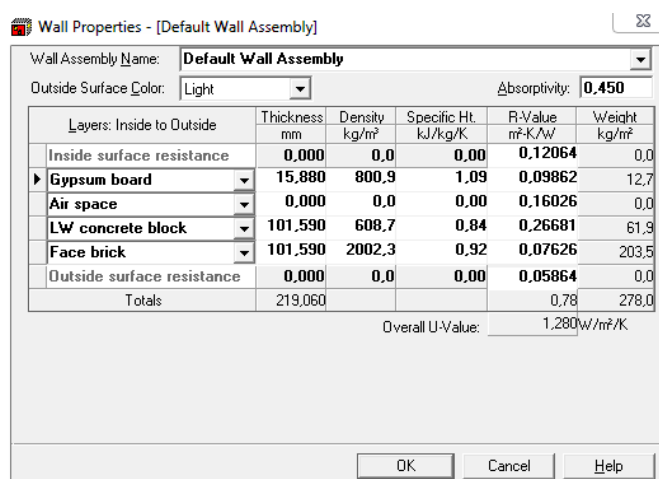


Figura 3.3 - Display do subcampo Walls

Como é possível observar na figura a apresentada, no âmbito do programa, para caracterizar um vão opaco é necessária a introdução de 4 parâmetros físicos relativos a cada solução construtiva utilizada no vão.

Tais parâmetros são a espessura [mm], a densidade [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ], o calor específico [ $\text{kJ}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$ ] e por último a resistência térmica da solução [ $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ].

Após a introdução destes parâmetros o programa determina o coeficiente global de transmissão de calor da parede [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ].

### 3.4.1.3. COBERTURAS (ROOFS)

No seguinte subcampo são inseridos os dados relativos às coberturas. Analogamente ao item anterior, para caracterizar uma cobertura são necessários os mesmos 4 parâmetros físicos referentes às diferentes soluções construtivas.

Roof Properties - [Default Roof Assembly]

Roof Assembly Name: **Default Roof Assembly**

Outside Surface Color: **Dark** Absorptivity: **0.900**

Layers: Inside to Outside	Thickness mm	Density kg/m³	Specific Ht. kJ/kg/K	R-Value m²-K/W	Weight kg/m²
Inside surface resistance	0.000	0.0	0.00	0.12064	0.0
► Steel deck	0.853	7833.0	0.50	0.00002	6.7
Board insulation	25.400	32.0	0.92	1.22291	0.8
Built-up roofing	9.540	1121.3	1.47	0.05847	10.7
Outside surface resistance	0.000	0.0	0.00	0.05864	0.0
Totals	35.793			1.46	18.2

Overall U-Value: 0.685 W/m²/K

OK Cancel Help

Figura 3.4 - Display do subcampo *Roofs*

### 3.4.1.4. VÃOS ENVIDRAÇADOS (WINDOWS)

No subcampo *Windows* são introduzidos os dados referentes aos vãos envidraçados. Na verdade, no âmbito do programa apenas são necessários introduzir 3 parâmetros físicos relativos a tal.

Figura 3.5 - *Display* do subcampo *Windows*

Primeiramente são necessárias as dimensões do envidraçado altura e largura [m]. É também necessário o valor global de transferência de calor do envidraçado [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ]. Por último é necessário o fator solar do envidraçado. No âmbito do programa este fator é determinado de uma forma peculiar:

$$\text{Shade Coefficient} = \text{Solar Heat Gain Coefficient} / 0,87$$

Expressão 3.1

$$\text{Solar Heat Gain Coefficient} = (f_{\text{solar}} \times 0,4) + (f_{\text{solar proteção 100\% act}} \times 0,6)$$

Expressão 3.2

#### 3.4.1.5. PORTAS (DOORS)

Neste subcampo são introduzidos os dados referentes às portas. Efetivamente no âmbito do programa para caracterizar uma porta são necessários dois parâmetros físicos, área da porta [ $\text{m}^2$ ] e o coeficiente global de transmissão de calor da porta [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ].

Caso a porta disponha de algum tipo de envidraçado é necessário a realização de um processo totalmente análogo ao realizado no item anterior. É então preciso a introdução da área do envidraçado [ $\text{m}^2$ ], o valor global de transferência de calor do envidraçado [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ] e o fator solar do envidraçado.



**Door Properties - [Sample Door Assembly]**

Door Details

Name:

Gross Area:  m²

Door U-Value:  W/m²/K

Glass Details

Glass Area:  m²

Glass U-Value:  W/m²/K

Glass Shade Coefficient:

Glass Shaded All Day: ☐

OK Cancel Help

Figura 3.6 - Display do subcampo *Doors*

#### 3.4.1.6. SOMBREAMENTOS (SHADES)

No seguinte subcampo são introduzidos os dados relativos aos sombreamentos que condicionam os ganhos solares provenientes dos envidraçados do edifício. Como é representado na figura a jusante para caracterizar um sombreamento são necessárias as suas dimensões físicas [mm].

**Shading Geometry Properties - [Default Shade Type]**

Name:

Reveal Depth:  mm

Overhang

Projection from surface:  mm

Height above window:  mm

Ext. past RH side of window:  mm

Ext. past LH side of window:  mm

Left Fin

Projection from surface:  mm

Height above window:  mm

Dist. from edge of window:  mm

Right Fin

Projection from surface:  mm

Height above window:  mm

Dist. from edge of window:  mm

OK Cancel Help

Figura 3.7 - Display do subcampo *Shades*

#### 3.4.1.7. MÁQUINAS PRODUTORAS DE ÁGUAS FRIAS E QUENTES (CHILLERS)

No subcampo *Chillers* são introduzidos os dados relativos às máquinas produtoras de água fria comercialmente denominadas *chillers*, instalados no edifício. Como retratado na figura seguinte, primeiramente nas definições gerais é necessário introduzir duas especificações primordiais relativas ao equipamento.

É necessário referir a função do equipamento, se produz somente água fria, se produz somente água quente funcionando como bomba de calor, ou se este se trata de um *chiller* reversível produzindo água fria e quente.

Por outro lado, é também necessário introduzir de que forma é removida a carga térmica rejeitada produzida pelo funcionamento do equipamento, se é removida através de ar ou de água.

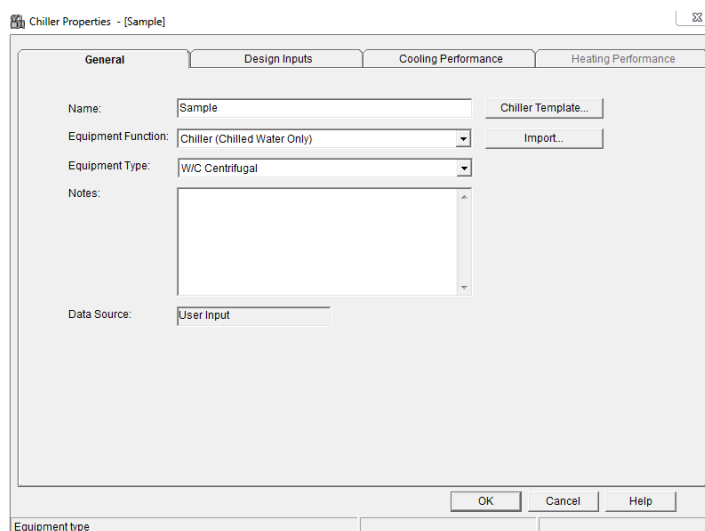


Figura 3.8 - *Display* do subcampo *Chillers*, especificações gerais

De acordo com o tipo de equipamento são ainda necessários para caracterizar um *chiller* outros parâmetros físicos. As temperaturas de saída da água do equipamento [°C], a temperatura do fluido que remove a carga térmica rejeitada resultante do funcionamento do equipamento [°C] e os índices de eficiência energética do equipamento COP e EER.

#### 3.4.1.8. CALDEIRAS (BOILERS)

Para caracterizar uma caldeira no âmbito da aplicação são necessários 6 diferentes parâmetros, introduzidos no subcampo *Boilers* conforme a figura a seguir apresentada.

Part Load Performance	
% Load	Efficiency (%)
100.0	80.0
90.0	80.0
80.0	80.0
70.0	80.0
60.0	80.0
50.0	80.0
40.0	80.0
30.0	80.0
20.0	80.0
10.0	80.0
0.0	80.0

Figura 3.9- *Display do subcampo Boilers*

É então necessário definir o tipo de equipamento e o tipo de combustível utilizado. Definido o tipo de caldeira é ainda imprescindível a introdução da temperatura das águas quentes sanitárias aquecidas pelo equipamento [°C], o caudal de consumo de água aquecida pelo equipamento [l/s], a eficiência do equipamento [%] e ainda o consumo dos acessórios anexos ao equipamento [kW].

#### 3.4.1.9. TAXA ELÉTRICA (*ELECTRIC RATES*)

Neste subcampo é introduzido o custo da eletricidade consumida no edifício [€/kWh].

#### 3.4.1.10. PREÇO COMBUSTÍVEIS (*FUEL RATES*)

Analogamente ao subcampo anterior neste item é apenas introduzido o custo dos combustíveis gastos pelo edifício [€/kWh].

### 3.4.2. *Dados climáticos (Weather)*

Neste capó são introduzidos os dados climáticos da localização do edifício.

Como se mostra na seguinte figura, para efeitos de dimensionamento das cargas térmicas é necessário inserir a localização do espaço.

Figura 3.10 – *Display* do item *Weather*

O programa possui uma base de dados climáticos pontuais de inúmeras localizações. Deste modo com base na localização inserida pelo utilizador o programa assume todos os dados climáticos referentes à localização em questão.

Para efeitos de simulação do espaço o programa necessita de dados climáticos referentes às 8760 anuais. Deste modo, informação exterior ao programa é requerida. É necessária então a importação de um ficheiro referente a localização em estudo com informação climática referente a todas as horas do ano.

### 3.4.3. Zonas (*Spaces*)

Neste campo são introduzidos os diversos dados referentes a cada espaço pertencente ao edifício. Devido à grande diversidade de dados a introduzir este campo é dividido em 7 subcampos distintos.

#### 3.4.3.1. DADOS GERAIS (*GENERAL*)

Neste subcampo são introduzidos os dados base de cada um dos espaços.

Space Properties - [Default Space]

General | Internals | Walls, Windows, Doors | Roofs, Skylights | Infiltration | Floors | Partitions

Name: Default Space

Floor Area: 46,5 m²

Avg Ceiling Height: 2,7 m

Building Weight: 341,8 kg/m²

Light Med Heavy

OA Ventilation Requirements

Space Usage: <User-Defined>

OA Requirement 1: 0,0 L/s/person

OA Requirement 2: 0,00 L/s-m²

Space usage defaults: ASHRAE Std 62.1-2007  
Defaults can be changed via View/Preferences.

OK Cancel Help

Figura 3.11 - Display do subcampo *Spaces / General*

Como é possível observar na figura 3.11 os dados base a introduzir neste subcampo são a área [m<sup>2</sup>], o pé direito [m] e a inércia térmica [kg/m<sup>2</sup>] do compartimento. Caso o espaço possua insuflação de ar novo é também neste campo que se inserem os requisitos para o efeito.

#### 3.4.3.2. GANHOS TÉRMICOS INTERNOS (INTERNALS)

As cargas térmicas internas inerentes a cada compartimento são introduzidas no seguinte subcampo.

Space Properties - [Default Space]

General | Internals | Walls, Windows, Doors | Roofs, Skylights | Infiltration | Floors | Partitions

Overhead Lighting

Fixture Type: Recessed, unvented

Wattage: 0,00 W/m²

Ballast Multiplier: 1,00

Schedule: (none)

Task Lighting

Wattage: 0,00 W/m²

Schedule: (none)

Electrical Equipment

Wattage: 0,00 W/m²

Schedule: (none)

People

Occupancy: 0,0 People

Activity Level: Office Work

Sensible: 71,8 W/person

Latent: 60,1 W/person

Schedule: (none)

Miscellaneous Loads

Sensible: 0 W

Schedule: (none)

Latent: 0 W

Schedule: (none)

OK Cancel Help

Figura 3.12 - Display do subcampo *Spaces / Internals*

Como é possível observar na figura anterior os dados a introduzir neste subcampo são as cargas térmicas internas [W] provenientes da iluminação, dos equipamentos elétricos e da ocupação de cada espaço.

### 3.4.3.3. DADOS SOBRE PAREDES, PORTAS E VÃOS ENVIDRAÇADOS (WALLS, WINDOWS, DOORS)

Os dados relativos aos vãos opacos referentes a cada compartimento são inseridos neste subcampo. Na verdade, somente os vãos que possuam trocas térmicas com o exterior são introduzidos neste menu.

Exposure	Wall Gross Area m²	Window 1 Quantity	Window 2 Quantity	Door Quantity
1 not user				
2 not user				
3 not user				
4 not user				
5 not user				
6 not user				
7 not user				
8 not user				

Construction Types for Exposure: 1 (not used)

Wall: (none)  
Window 1: (none)  
Shade 1: (none)  
Window 2: (none)  
Shade 2: (none)  
Door: (none)

Figura 3.13 - Display do subcampo Spaces / Walls, Windows, Doors

Primeiramente introduz-se a orientação geográfica do vão. Todos os dados inseridos a jusante deste passo serão relativos à orientação inserida. Após a orientação estipulada introduz-se a área do vão [m²], conforme a figura 3.13. Os restantes dados a inserir neste subcampo são baseados nos dados já inseridos na biblioteca de dados denominada anteriormente *Project Libraries*.

Com a orientação e área do vão estabelecidas é necessário definir a sua constituição. As possíveis constituições para cada vão são os tipos de parede já estabelecidos na biblioteca de dados.

Por fim são necessários também introduzir os dados referentes às aberturas nos vãos opacos, os envidraçados e as portas.

Analogamente aos dados relativos à constituição dos vãos opacos, as possíveis soluções a introduzir para os tipos de aberturas são os tipos de envidraçados e os tipos de portas definidos na biblioteca de dados.

### 3.4.3.4. DADOS SOBRE COBERTURAS E VÃOS ENVIDRAÇADOS (ROOFS, SKYLIGHTS)

Neste subcampo são introduzidos os dados relativos às coberturas referentes a cada compartimento. O procedimento de introdução de dados neste subcampo é similar ao anterior.

	Exposure	Roof Gross Area m²	Roof Slope (deg)	Skylight Quantity
1	not used			
2	not used			
3	not used			
4	not used			

Construction Types for Exposure: **1 (not used)**

Roof: (none)

Skylight: (none)

OK Cancel Help

Figura 3.14 - Display do subcampo Spaces / Roofs, Skylights

Sendo possível observar na figura anterior o conjunto de dados a introduzir neste subcampo relativo às coberturas é análogo ao conjunto de dados do subcampo anteriormente apresentado.

#### 3.4.3.5. INFILTRAÇÕES (INFILTRATION)

Seguidamente são introduzidos os dados referentes às infiltrações de ar exterior inerentes a cada compartimento.

Enter infiltration rate in any column:

	L/s	L/s/m²	ACH
Design Cooling	0.00		0.00
Design Heating	0.00		0.00
Energy Analysis	0.00		0.00

Infiltration occurs: ☒ Only When Fan Off ☐ All Hours

OK Cancel Help

Figura 3.15 - Display do subcampo Spaces / Infiltration

Para caracterizar as infiltrações inerentes a cada espaço, o programa dispõe de duas hipóteses. Uma das hipóteses consiste em introduzir o caudal de ar [l/s], que é introduzido por infiltração para o interior do espaço. A outra hipótese consiste em introduzir o número de renovações de ar por hora que o espaço está sujeito [Air Changes / Hour].

#### 3.4.3.6. PAVIMENTOS (FLOORS)

No subcampo *Floors* são introduzidos os dados relativos aos pavimentos referentes a cada compartimento. A introdução de dados é realizada unicamente para os pavimentos que possuam trocas térmicas com o exterior.

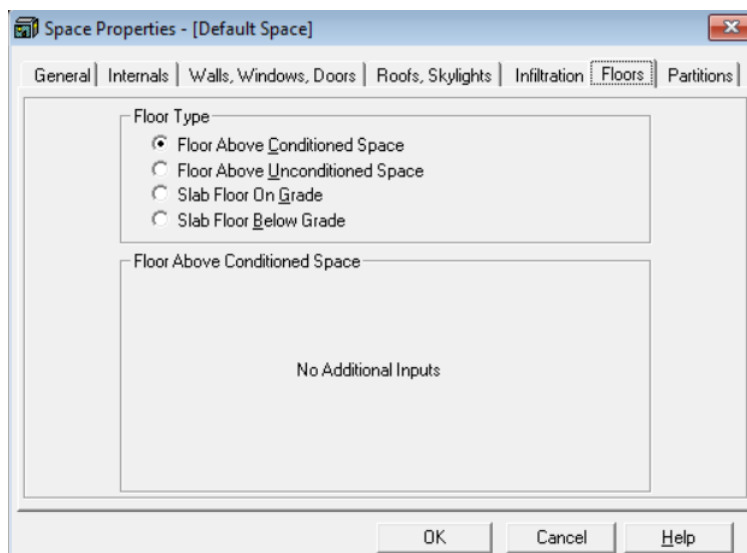


Figura 3.16 - *Display* do subcampo *Spaces / Floors*

Como é possível observar na figura a montante representada, no âmbito do programa existem 3 diferentes tipos de pavimentos nos quais ocorrem transferência de calor com o exterior. Quando o pavimento está sobre uma zona não climatizada, quando o pavimento está em contacto com o solo ou ainda quando é um pavimento de uma zona subterrânea.

#### 3.4.3.7. COMPARTIMENTAÇÃO (PARTITIONS)

Neste subcampo são introduzidos os dados relativos aos vãos opacos e às coberturas referentes a cada compartimento que estão sujeitas a trocas térmicas com espaços não climatizados.



	Partition 1	Partition 2
	<input checked="" type="radio"/> Ceiling Partition <input type="radio"/> Wall Partition	<input checked="" type="radio"/> Ceiling Partition <input type="radio"/> Wall Partition
Area	0,0	0,0 m²
U-Value	2,839	2,839 W/m²/K
Unconditioned Space Max Temp.	23,9	23,9 °C
Ambient at Space Max Temp.	35,0	35,0 °C
Unconditioned Space Min Temp.	23,9	23,9 °C
Ambient at Space Min Temp.	12,8	12,8 °C

Figura 3.17 - *Display* do subcampo *Spaces / Partitions*

Na figura anterior apresentada, para caracterizar os vãos opacos e coberturas em contacto com zonas não climatizadas é primeiramente necessária a introdução da área do vão [m²].

Seguidamente inerente ao mesmo introduz-se o coeficiente global de transmissão de calor [W/m² · °C].

Por último é necessária a introdução das temperaturas do ar exterior e as temperaturas interiores dos espaços não climatizados [°C].

#### 3.4.4. *Sistemas (Systems)*

Neste campo são introduzidos os dados referentes aos sistemas de climatização instalados no edifício, em função do tipo de sistema.

Devido à grande diversidade de dados a introduzir este campo é dividido em 4 distintos subcampos.

##### 3.4.4.1. *DADOS GERAIS DOS SISTEMAS (GENERAL)*

No seguinte subcampo introduzem-se os dados gerais do sistema de climatização a definir.

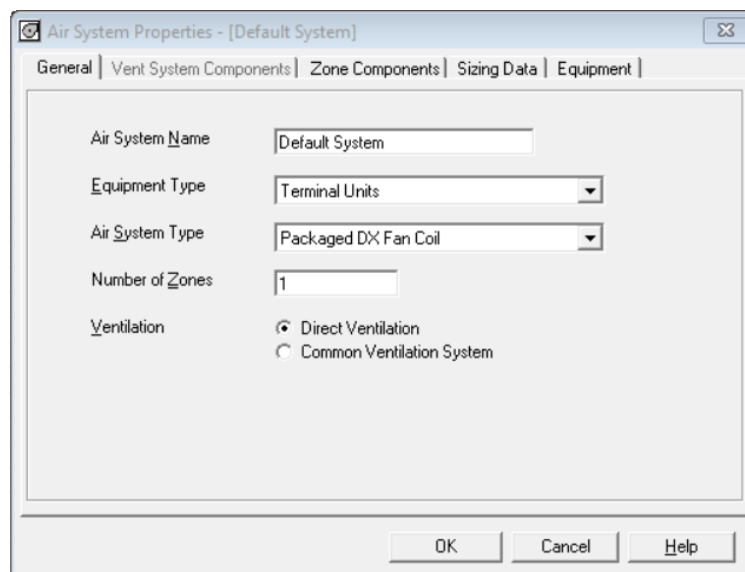


Figura 3.18 - Display do subcampo *Systems / General*

Primeiramente para caracterizar um sistema de climatização é necessário definir uma nomenclatura inerente a cada sistema.

Posteriormente é necessária a introdução do tipo de sistema em questão e o número de compartimentos que este contempla.

#### 3.4.4.2. SISTEMAS DE VENTILAÇÃO E COMPONENTES (*VENTILATION SYSTEM COMPONENTS*)

Neste subcampo introduzem-se os dados referentes às redes de distribuição de água e ar pertencentes ao sistema de climatização instalado

#### 3.4.4.3. COMPONENTES REFERENTES A CADA ZONA (*ZONE COMPONENTS*)

Neste subcampo é realizada a escolha das compartimentações contempladas pelo sistema de climatização em questão. Contudo é também neste campo que se introduz toda a informação referente aos equipamentos do sistema de climatização instalados no interior das compartimentações.

#### 3.4.5. Edifícios (*Buildings*)

Neste campo é concebido o edifício a simular com base em todos os dados inseridos a montante. Apesar de estar entre os campos de introdução de dados, efetivamente neste campo não é necessária a introdução de qualquer nova variável.

No âmbito do programa um edifício é definido pelo grupo de sistemas de climatização que estão instalados. A cada sistema de climatização está associado um número de zonas bem como todas as variáveis a estas referentes.

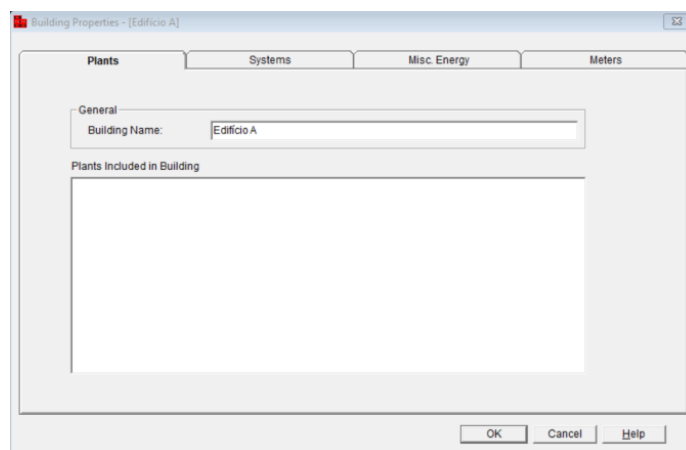


Figura 3.19- Display do campo *Buildings / Plants*

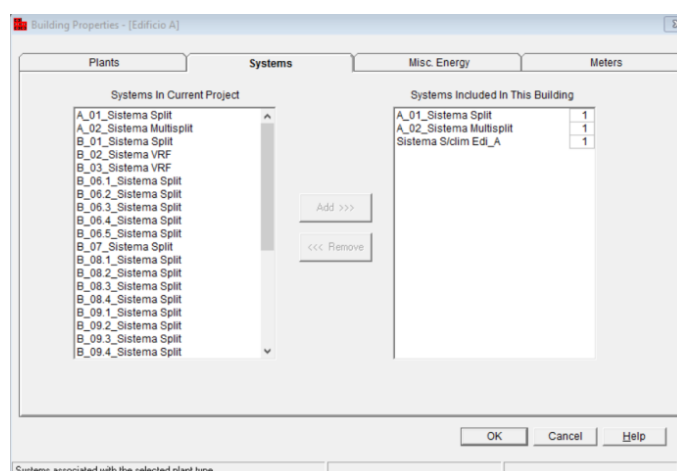


Figura 3.20- Display do campo *Buildings / Systems*

Como ilustrado nas figuras apresentadas, primeiramente para originar um edifício é necessário definir uma nomenclatura para tal.

Posteriormente de modo a conceber o edifício introduzem-se todos os sistemas de climatização que neste operaram.

# Capítulo 4

## **Descrição climática da localização e descrição do imóvel**

No capítulo anterior foi exposto, o enquadramento legal nacional referente ao consumo energético por parte dos edifícios. Neste contexto foram apresentados os regulamentos e decretos de lei emitidos até à presente data. É também apresentado o programa informático de simulação dinâmica que será utilizado, bem como todos os processos de operação do mesmo.

De modo a realizar uma posterior simulação dinâmica energética do imóvel, neste capítulo é apresentada a localização do mesmo num contexto climático.

Descreve-se também a constituição dos edifícios, onde são expostas as envolventes e soluções construtivas, bem como os sistemas instalados.

É de evidenciar que todo este capítulo foi baseado no relatório resultante do trabalho de auditoria desenvolvido pelos colaboradores da empresa Ecoperfil [24]. No âmbito do Decreto-Lei 118/2013 de 20 de Agosto - Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), tal trabalho foi desenvolvido para avaliar o desempenho energético de um grande edifício de comércio e serviços existente. Deste trabalho resulta um modelo do imóvel. Este modelo foi elaborado numa aplicação denominada *DesignBuilder*, a qual se encontra logicamente também em conformidade com a legislação.

Toda a informação neste capítulo exposta advém da referida fonte.

#### 4.1. Localização e zona climática

O imóvel que será alvo de estudo trata-se de um conjunto de 6 edifícios sito na região Autónoma da Ilha da Madeira, mais precisamente na costa sul da ilha na cidade do Funchal.



Figura 4.1. Mapa da ilha da Madeira com a localização do imóvel



Figura 4.2. Representação parcial da ilha a 3 dimensões com a localização do imóvel

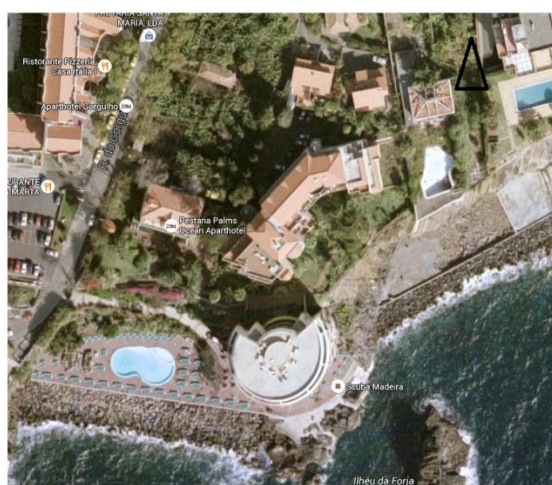


Figura 4.3. Fotografia aérea da localização exata do imóvel

Tabela 4.1. Dados referentes à localização

Localidade	Região Autónoma da Madeira
Concelho	Funchal
Freguesia	São Martinho
Morada	Rua do Orgulho 17-19   9000 -107 Funchal
Coordenadas	32° 6' N 16° 9' O

Tal conjunto de edifícios tem uma altitude média de 30 m em relação ao nível do mar e está localizado numa zona costeira, zona esta bastante exposta sem obstáculos em redor que atenuem o vento ou causem sombreamentos.

Num ponto de vista legal de acordo com o RCCTE e com a publicação emitida pelo LNEC “Temperaturas Exteriores de Projeto e Números de Graus-Dias”, o imóvel localiza-se numa zona climática com as seguintes características:

Tabela 4.2. Dados climáticos do local

	Inverno	Verão
Zona climática	I1	V1
DB [°C]	12,6	26
WB [°C]	10	20,8
Amplitude térmica [°C]	-	5,3
Probabilidade de ocorrência [%]	2,5	97,5
HR[%]	70	70

É de referir que o valor da humidade relativa média anual apresentado trata-se de um valor estimado de inúmeros valores de humidade relativa obtidos entre o ano de 2012 e 2015, apresentados em gráfico a jusante

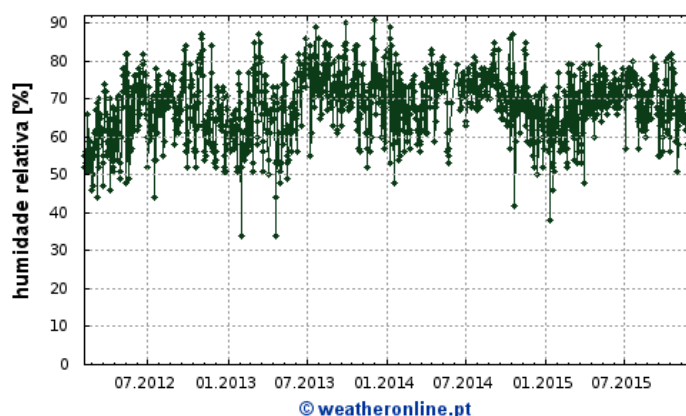


Gráfico 4.1 - Valores de humidade relativa referentes à cidade do Funchal entre os anos de 2012 e 2015

De modo a verificar a veracidade de tais valores são marcados em diagrama psicrométrico os pontos representativos das situações típicas quer de Verão quer de Inverno. Em tal

representação é possível verificar que a humidade relativa anual média é de cerca de 70%.

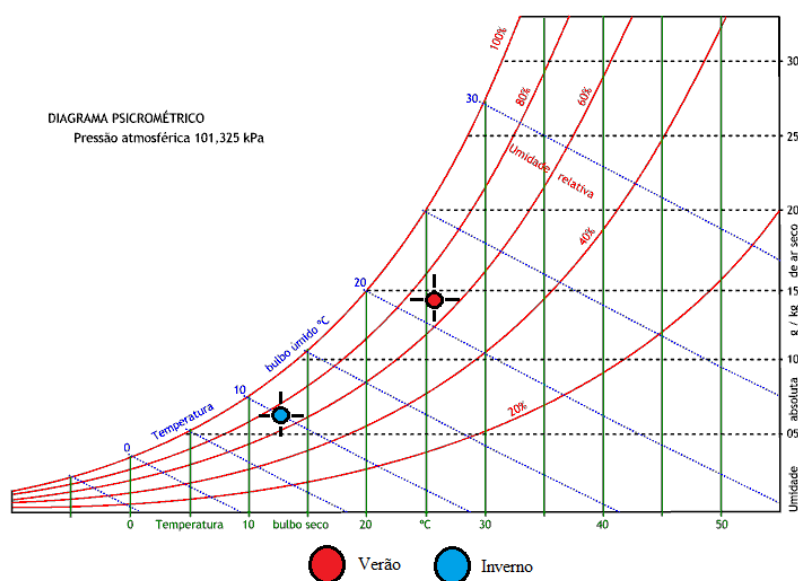


Figura 4.4 - Pontos representativos das situações típicas de Verão e de Inverno

## 4.2. Descrição do imóvel

O presente imóvel em estudo tem 6 edifícios distintos. O imóvel apresenta na sua totalidade uma área de 13556 m<sup>2</sup> distribuída por 522 espaços distintos. Os edifícios encontram-se em funcionamento desde 1992 e estão ocupados 24 horas por dia, 365 dias por ano.

As potências instaladas quer de arrefecimento quer de aquecimento bem como o consumo elétrico faturado no ano de 2014 são dados apresentados na tabela seguinte.

Tabela 4.3 - Potências instaladas no imóvel e consumo elétrico faturado no ano de 2014

Potência instalada em arrefecimento [kW]	236
Potência instalada em aquecimento [kW]	269
Consumo anual elétrico [kWh]	784 254

Em seguida são apresentados de uma forma generalizada os 6 blocos pertencentes ao imóvel. Contudo poderão ser consultadas as plantas e todos os detalhes referentes à compartimentação no relatório de auditoria [24].

- Bloco A – Club House;
- Bloco B – Hotel Palms;
- Bloco C – Time Sharing;
- Bloco D – Edifício Belomar;
- Bloco D.1 – Anexo 1 Edifício Belomar;
- Bloco D.2 – Anexo 2 Edifício Belomar.

O bloco A consta num edifício de 4 pisos, 1 subterrâneo e os restantes a uma cota acima do nível do solo. Este é um edifício de apoio a toda a unidade hoteleira logo é preenchido apenas com zonas de serviços, zonas técnicas e zonas de lazer comuns a todos os clientes.

O bloco B é constituído por 10 pisos e neste caso não existem pisos subterrâneos. Este é um edifício composto genericamente por quartos de hóspedes e algumas zonas complementares de serviços e arrumos, bem como uma grande zona de restauração e uma sala de conferências.

O bloco C é um edifício de 8 pisos, dos quais 2 são subterrâneos. Maioritariamente é também composto por quartos de hóspedes e algumas zonas complementares de serviços e arrumos.

O bloco D trata-se de um pequeno edifício de apartamentos com 3 pisos todos eles com uma cota superior ao nível do solo. Este edifício é na sua totalidade composto por apartamentos existindo apenas mais um número reduzido de zonas técnicas de arrumos.

O bloco D.1 é um edifício de 2 pisos constituído apenas por um apartamento e uma zona técnica de serviços.

O Bloco D.2 é o ginásio de todo o complexo hoteleiro. Trata-se de o edifício com dimensões mais reduzidas, sendo apenas constituído por uma zona de ginásio e uma zona balnear.

Todos os blocos estão separados entre si expeto uma situação, o piso 4 do bloco B está ligado ao piso 0 do bloco C, como é possível observar nas plantas apresentadas no relatório de auditoria.

#### *4.2.1. Soluções construtivas,*

Quer na envolvente opaca quer na envolvente transparente, estes edifícios possuem diferentes tipos de soluções construtivas. Os coeficientes de transmissão térmica e os demais detalhes referentes às soluções são apresentados no relatório de auditoria [24].



#### *4.2.2. Sistemas de climatização*

Num modo geral a maioria da climatização do complexo hoteleiro é realizada através de sistemas localizados. Nos blocos A e C os sistemas de climatização são do tipo Split e no bloco B são do tipo Split, Multi-Split e VRV. É de frisar que existem vários sistemas instalados de diferentes marcas e modelos com especificações técnicas distintas, detalhadas no relatório de auditoria [24].

#### *4.2.3. Produção de AQS*

Toda a produção de águas quentes sanitárias da unidade hoteleira é garantida por 2 caldeiras a gás propano com uma potência de 244 kW cada e com uma eficiência de catálogo de 0,924.

#### *4.2.4. Ar novo e Ventilação*

Nesta unidade hoteleira não existe insuflação mecânica de ar novo. Assim sendo, a ventilação é constituída apenas por ventiladores de extração e o ar novo que é introduzido no interior dos edifícios é exclusivamente devido a infiltrações.

# Capítulo 5

## **Modelo e Simulação dinâmica**

No anterior capítulo apresentam-se os edifícios a modelar e a zona da localização do imóvel em contexto climático. Em tal apresentação foi realizada uma descrição física dos edifícios e dos sistemas de climatização instalados.

Genericamente no presente capítulo ir-se-á elaborar e simular, um modelo representativo da situação real em que se encontra o imóvel, que será análogo ao modelo elaborado pela equipa de auditoria.

Seguidamente é exposto o critério utilizado para a validação do modelo concebido, que garante a veracidade do mesmo. Tal critério será baseado nos valores obtidos para as cargas térmicas e consumos energéticos inerentes aos modelos.

Para finalizar esta etapa será realizado o processo de simulação dinâmica do modelo concebido para este estudo.

## 5.1. Introdução de dados e construção do modelo

O modelo a construir é um modelo representativo da situação real, que já foi modelada pela equipa de auditoria. Os dois modelos serão análogos.

Deste modo todos os parâmetros e valores introduzidos no HAP utilizados na construção do modelo provêm do trabalho de auditoria [24].

Como já referido no âmbito deste software um edifício é definido pelo conjunto de sistemas de climatização que nele operam. Contudo, de modo a contemplar as zonas que não são climatizadas, são criados sistemas fictícios com consumos energéticos nulos.

## 5.2. Dimensionamento das cargas térmicas, simulação do modelo e validação

Na verdade, antes de qualquer aplicação do modelo desenvolvido para efeitos deste trabalho, ir-se-á verificar a sua veracidade.

De modo a testar a exatidão do modelo construído, este terá então que ser comparado com o seu homólogo, o modelo desenvolvido no âmbito do trabalho real de auditoria.

O modelo elaborado estará fechado caso se verifiquem duas condições.

Para se verificar a primeira condição, o valor obtido no dimensionamento do modelo referente à carga térmica de arrefecimento, tem que ser análogo ao valor de potência instalada de arrefecimento, apresentado no relatório referente ao trabalho de auditoria.

Para se verificar a segunda condição, o valor obtido na simulação do modelo referente ao consumo energético do edifício, tem que ser análogo ao valor faturado apresentado também no relatório referente ao trabalho de auditoria.

Na verdade, o modelo é válido, se cada uma das duas anteriores comparações de valores não apresentar uma diferença superior a 10%.

Para a primeira condição, apenas será critério de teste os valores referentes ao modo de arrefecimento. No modo de aquecimento, a carga térmica necessária determinada pelo dimensionamento do modelo elaborado, apresenta um valor bastante inferior ao valor de potência instalada de aquecimento apresentado no relatório de peritagem.

Tal divergência deve-se ao facto de ambas as potências instaladas, arrefecimento e aquecimento, estarem associadas a sistemas de climatização que operam nos dois modos, sistemas Split, sistemas VRV e um pequeno sistema *chiller* /BC.

Face à localização do imóvel é de prever que as necessidades térmicas no modo de arrefecimento serão muito superiores que as necessidades em modo de aquecimento. Tal facto é explícito no dimensionamento do modelo.

Na verdade, os sistemas necessitarão de uma potência instalada para garantir o tratamento da carga térmica de arrefecimento. Devido ao tipo de sistemas as potências instaladas, arrefecimento e aquecimento, são semelhantes. Assim verifica-se um excedente de potência instalada para aquecimento, pois tal potência é bastante superior à carga térmica necessária nos edifícios neste período do ano.

Deste modo apenas o valor da carga térmica de arrefecimento do modelo é semelhante ao valor da potência instalada de arrefecimento da instalação.

### 5.2.1. Resultados obtidos

Realizado o dimensionamento de todos os sistemas de climatização referentes ao modelo são obtidas as cargas térmicas referentes aos espaços contemplados por cada sistema. A potência total resulta do somatório das cargas térmicas referentes a todos os sistemas. Os cálculos das cargas térmica são apresentados no apêndice A do trabalho e os valores obtidos são resumidos na tabela seguinte.

Tabela 5.1 - Cargas térmicas totais inerentes ao modelo concebido

Carga térmica de Arrefecimento [kW]	256,91
Carga térmica de Aquecimento [kW]	69,86

Realizada a simulação dinâmica do modelo são obtidos os consumos energéticos anuais por parte dos edifícios. O consumo energético total resulta do somatório dos consumos referentes a todos os edifícios. O cálculo do consumo energético total é apresentado em apêndice do trabalho e o valor obtido é apresentado na tabela seguinte.

Tabela 5.2 - Consumo energético total inerente ao modelo concebido

Consumo total obtido com a simulação dinâmica [kWh]	806 200
---	---------

### 5.2.2. Comparação de resultados e validação do modelo

A validação do modelo realiza-se pela comparação da carga térmica e da energia consumida.

Aplicando então os critérios já enunciados ir-se-á então verificar a viabilidade do modelo construído no âmbito deste projeto.

Com a carga térmica de arrefecimento determinada é possível concretizar a primeira comparação.

Tabela 5.3 - Potências instaladas enunciadas no relatório de auditoria

Potência instalada em Arrefecimento [kW]	236
Potência instalada em Aquecimento [kW]	269

$$\frac{\text{Carga térmica de arrefecimento referente ao modelo}}{\text{Potência instalada em arrefecimento}} = \frac{256,9}{236} = 1,0887 \approx 8,8\%$$

Com a o consumo energético total determinado é possível concretizar a segunda comparação.

Tabela 5.4 - Consumo energético total reportado na faturação referente ao ano de 2014

Consumo total reportado no trabalho de auditoria [kWh]	784 254
--	---------

$$\frac{\text{Consumo energético total do modelo}}{\text{Consumo total reportado}} = \frac{806\,200}{784\,254} = 1,0279 \approx 2,79\%$$

Realizadas as comparações, verifica-se que cada uma destas não apresenta uma diferença superior a 10%. Assim pode considerar-se o modelo válido.

Contudo referido na fase introdutória, o objetivo de estudo do presente trabalho consta na otimização de um sistema de climatização centralizado, que instalado apenas num edifício é capaz de ter um reduzido consumo de energia.

Tal situação não é análoga à situação real, à qual o modelo validado e o modelo criado pela equipa de auditoria correspondem.

De tal modo será necessário um ajustamento do modelo dos edifícios, o qual ira ajustar o modelo elaborado a esta situação em estudo. O ajustamento a efetuar é apresentado em detalhe no capítulo seguinte.

# Capítulo 6

## **Pré-dimensionamento do sistema AVAC idealizado a instalar no Edifício B**

No anterior capítulo foi justificado, validado e simulado o modelo representativo do imóvel, que consiste num conjunto de vários sistemas de climatização distribuídos num conjunto de vários edifícios.

Tal conjunto de edifícios referente ao modelo validado apenas possui um pequeno sistema centralizado de climatização, sendo a restante totalidade da climatização dos espaços realizada através de equipamentos localizados, com eficiências reduzidas e amplos consumos energéticos.

Não existe de insuflação de ar novo exterior.

Passando o objetivo de estudo do trabalho pela otimização de um sistema de climatização que instalado apenas num edifício é capaz de ter um reduzido consumo de energia, é necessário então alterar o modelo, ajustando-o à situação referente ao caso em estudo.

Para o efeito escolhe-se apenas 1 dos edifícios e substitui-se os sistemas de climatização no edifício instalados, por um sistema de climatização centralizado tipo, que cumpra toda a legislação em vigor e as especificações delineadas pelo objetivo do trabalho.

No presente capítulo ir-se-á expor o pré-dimensionamento de tal sistema de climatização, serão justificadas as opções tomadas e justificados os cálculos efetuados. Por fim, ir-se-á ajustar o modelo à nova situação, introduzindo o sistema de climatização pré-dimensionado no modelo validado.

## 6.1. Ajustamento do caso real ao objetivo do trabalho

O ajustamento do caso real faz-se apenas num dos 5 edifícios que constituem o modelo. Sendo o edifício B o edifício com maior volumetria, com o maior registo de consumos energéticos e com o maior número de sistemas de climatização com baixa eficiência, será este o edifício escolhido para o caso em estudo. Tal edifício é apresentado na seguinte figura.

Neste edifício serão substituídos todos os sistemas de climatização localizados, por um sistema de climatização centralizado tipo, sobre o qual se farão diversas modificações com vista à aplicação das técnicas de Taguchi.



Figura 6.1 - Fotografia do edifício em estudo

## 6.2. Descrição do sistema de climatização e potências instaladas

Trata-se de um sistema de climatização centralizado munido de um *chiller*/BC a 4 tubos, que realiza a produção de água fria e de água quente.

Sendo um sistema alimentado por um equipamento do tipo 4 tubos, a água tratada pela máquina é distribuída em duas redes distintas, rede de água fria e rede de água quente.

A água arrefecida/aquecida é distribuída em ventilo-convectores que superam as necessidades de climatização do edifício. O sistema garante também a insuflação de um caudal de ar novo, através de uma unidade de tratamento de ar novo, que assegura o caudal de ar novo necessário para que exista qualidade do ar interior do edifício. As baterias de aquecimento e de arrefecimento instaladas na UTAN são também elas alimentadas por águas provenientes do *chiller*/BC.

Os regimes de funcionamento dos VC's e da UTAN poderão ser bastantes divergentes quer em termos de horário quer em termos de potências necessárias. Assim, com o objetivo do menor

Tais circuitos estão separados entre si por um coletor de águas. Este equipamento irá controlar as pressões entre os anéis do sistema e irá garantir um regular funcionamento dos equipamentos de bombeamento.

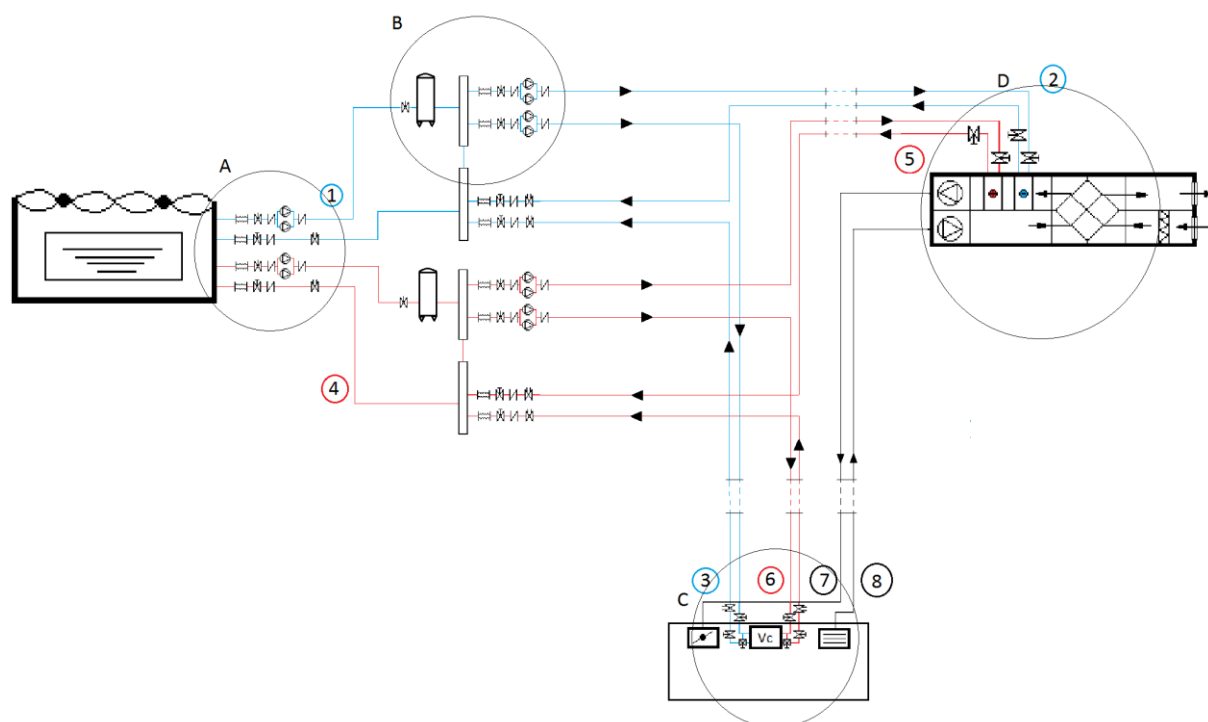


Figura 6.2 - Esquema de princípio da instalação de climatização



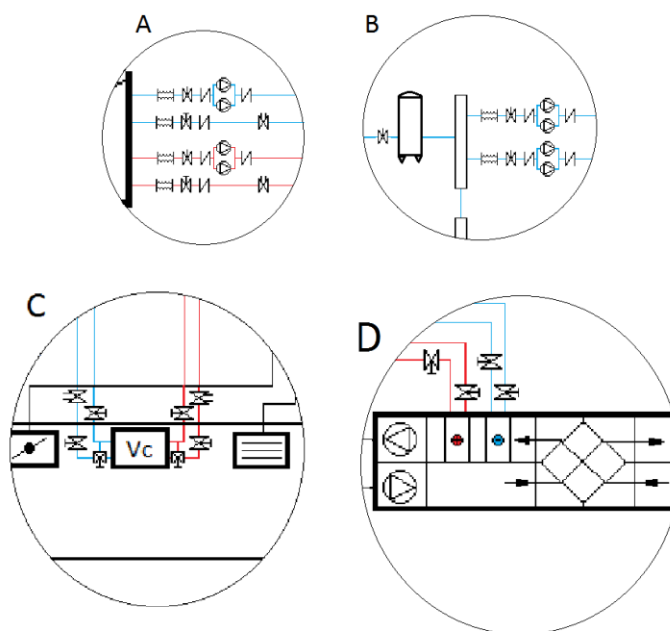


Figura 6.3 - Detalhes do esquema de princípio

Tabela 6.1 - Nomenclatura e especificação de cada tipo de rede

Rede 1	Anel Primário / Água fria proveniente do chiller
Rede 2	Anel Secundário / Água fria alimentação bateria Uta
Rede 3	Anel Secundário / Água fria alimentação VC
Rede 4	Anel primário / Água quente proveniente da BC
Rede 5	Anel Secundário / Água quente alimentação bateria Uta
Rede 6	Anel Secundário / Água quente alimentação VC
Rede 7	Rede de Ar novo
Rede 8	Rede de retorno de Ar

De acordo com o tipo de sistema apresentado serão então necessários estipular dois tipos de potências instaladas no sistema, a potência necessária para o tratamento das cargas térmicas do espaço e a potência necessária para o tratamento do ar novo insuflado nos espaços.

Para a potência necessária no tratamento das cargas térmicas, ou seja, para a potência necessária que supera as necessidades de climatização do edifício, serão admitidos os valores resultantes no dimensionamento das cargas térmicas do modelo, referentes apenas ao edifício B.

Tabela 6.2 - Cargas térmicas inerentes ao edifício B

Carga térmica em Arrefecimento Edifício B [W]	180356
Carga térmica em Aquecimento Edifício B [W]	51192

O ar que é insuflado nos espaços é captado e tratado através de uma unidade de tratamento de ar. Este ar é condicionado através de baterias de aquecimento e arrefecimento instaladas na UTAN, também estas alimentadas pelo *chiller*/BC.

Os valores de potência necessária para garantir a qualidade térmica do ar insuflado nos espaços são determinados com a seguinte expressão:

$$\dot{Q}[\text{kW}] = \dot{m}[\text{kg/s}] \times \Delta h [\text{kJ/kg}]$$

Expressão 5.1

Onde:

$\dot{Q}$  - Potência necessária para o tratamento do ar novo [kW];

$\dot{m}$  - Caudal de ar [kg/s];

$\Delta h$  - Diferença de entalpias do ar interior e exterior [kJ/kg °C ].

De modo a obter os valores das potências das baterias, são traçadas em diagrama as evoluções psicrométricas do ar, quer na estação de aquecimento quer na estação de arrefecimento, de modo a obter os valores de entalpia do ar.

Aplicando esses valores à relação a montante apresentada obtêm-se então as seguintes potências:

Tabela 6.3 - Potências necessárias para o tratamento do ar novo insuflado nos dois modos de funcionamento

Potência necessária para o tratamento do ar novo Arrefecimento [W]	57139
Potência necessária para o tratamento do ar novo Aquecimento [W]	44413

Logicamente a potência total necessária em arrefecimento ou em aquecimento será resultado da soma, entre a carga térmica a ser removida dos espaços com a potência necessária para tratamento do ar novo insuflado. Na verdade, é esta a potência que o *chiller*/BC terá que fornecer ao sistema.

Tabela 6.4 - Potências totais necessárias nos dois modos de funcionamento

Potência total necessária de Arrefecimento [W]	237492
Potência total necessária de Aquecimento [W]	95605

### 6.3. Descrição teórica do problema

O dimensionamento de um sistema de climatização é um processo rigoroso e detalhado.

Não sendo objetivo do trabalho o dimensionamento detalhado, realiza-se de seguida o pré-dimensionamento necessário para a avaliação do impacto de diversas variáveis.

Com o concreto objetivo de determinar a potência total do sistema, este pré-dimensionamento tem 3 resultados a determinar: os caudais de ar, os caudais de água proveniente do *chiller*/BC e as perdas de carga no sistema.

Com os valores referentes aos caudais e às perdas de carga nas redes determinados é possível então obter as potências dos ventiladores e bombas instalados no sistema.

A potência total do sistema de climatização será então obtida com a soma da potência do *chiller*/ BC com as potências dos equipamentos anexos referidas anteriormente.

### 6.4. Cálculos efetuados e valores obtidos

Como já referido, as 3 variáveis chave a determinar para obter as potências referentes às bombas e aos ventiladores instalados no sistema são: caudais de ar, caudais de água e perdas de carga nas redes.

Aplicando a expressão seguinte é possível obter as potências dos referidos equipamentos.

$$\text{Potência}_{\text{equipamento}}[\text{W}] = \frac{\Delta P_{\text{rede}}[\text{Pa}] \times Q_{\text{rede}}[\text{m}^3/\text{s}]}{\eta}$$

Expressão 5.2

Onde:

$\Delta P_{\text{rede}}$  - Perda de carga na rede [Pa];

$Q_{\text{rede}}$  - Caudal de fluido na rede [ $\text{m}^3/\text{s}$ ];

$\eta$  - Rendimento do equipamento - Admitido 0,6 para efeitos de pré-dimensionamento.

De modo a justificar todos os valores obtidos e apresentar todos os processos de cálculo efetuados, é apresentado em apêndice a folha de cálculo elaborada e utilizada neste pré-dimensionamento do sistema de climatização tipo.

#### 6.4.1. Caudais de Ar

É proeminente determinar os caudais de ar no sistema pois estes têm grande influência no consumo total do mesmo. Na verdade, baseado nesses caudais ir-se-á determinar a potência dos ventiladores instalados no sistema.

O caudal de ar novo a insuflar em cada espaço será estipulado de acordo com o RECS. Todo o ar insuflado dentro dos espaços é ar novo, não existindo qualquer tipo de mistura entre o ar a insuflar e o ar de retorno, ou seja, o caudal de ar admitido pela UTAN é igual ao somatório dos caudais necessários em cada espaço.

De acordo com o regulamento existem 3 diferentes métodos para determinar o caudal de ar novo necessário a insuflar no espaço: método analítico, método prescritivo em função da carga poluente devido a ocupação e método prescritivo em função da carga poluente devido ao edifício.

Determinados por estes 3 diferentes métodos, escolheu-se o maior dos caudais para cada espaço. Deste modo, o caudal total necessário de ar novo a insuflar será o somatório dos maiores caudais de cada espaço.

Tabela 6.5 - Caudal de insuflação total necessário

Caudal de insuflação [m <sup>3</sup> /h]	18700
--	-------

O caudal de retorno será determinado de duas formas diferentes. O retorno de ar efetuado através das instalações sanitárias será também definido através de um critério exposto na referida regulamentação, denominado "caudais mínimos a assegurar para locais e instalações específicas".

Nos restantes espaços, de modo a que o edifício esteja pressurizado evitando infiltrações, o caudal de retorno é igual a 90% do caudal insuflado.

Analogamente ao caudal total de ar a ser insuflado, o caudal total de retorno será igual somatório dos caudais de retorno de todos os espaços.

Tabela 6.6 - Caudal de retorno total

Caudal de retorno [m <sup>3</sup> /h]	16830
---------------------------------------	-------

### 6.4.2. Caudais de água

Similarmente ao item anterior é também fundamental determinar os caudais de água no sistema pois estes têm grande influência no consumo total do mesmo. Na verdade, baseado nestes caudais ir-se-á determinar o consumo energético das bombas instaladas nas diferentes redes de água pertencentes ao sistema.

Os caudais de água de todas as redes pertencentes ao sistema de climatização são determinados através da expressão:

$$\dot{Q}[\text{kW}] = \dot{m} [\text{m}^3/\text{s}] \times C_p [\text{kJ}/\text{kg } ^\circ\text{C}] \times \Delta T [^\circ\text{C}]$$

Expressão 5.3

Onde:

$\dot{Q}$  - Potência do fluido na rede [kW];

$\dot{m}$  - Caudal de fluido na rede [ $\text{m}^3/\text{s}$ ];

$C_p$  - Calor específico do fluido [ $\text{kJ}/\text{kg } ^\circ\text{C}$ ];

$\Delta T$  – Diferença de temperaturas do fluido à entrada e à saída da rede [ $^\circ\text{C}$ ].

Aplicando os respetivos dados de cada rede a tal expressão obtêm os respetivos caudais de água que circulam em cada rede.

Tabela 6.7 - Caudais de água obtidos para cada rede de água

Rede [Nº]	$\dot{m}$ [ kg / s ]
Rede 1	11,36
Rede 2	2,73
Rede 3	8,63
Rede 4	4,57
Rede 5	2,12
Rede 6	2,45

### 6.4.3. Perdas de Carga

As perdas de carga foram determinadas com base no comprimento da rede e com base nas perdas de pressão impostas pelos demais equipamentos anexos, constituintes da mesma.

Foram admitidos valores tipo para a perda de pressão na rede de 200 Pa/m para as redes de água e de 1 Pa/m para as redes de ar. Contabilizando todas as perdas de carga impostas pela rede e pelos acessórios obtêm-se assim os valores totais de perda de pressão em cada rede.

Tabela 6.8 - Perdas de carga obtidas para cada rede de água

Rede [Nº]	$\Delta P$ [Pa]
Rede 1	10043,6
Rede 2	45722,6
Rede 3	91425,2
Rede 4	10043,6
Rede 5	35302,6
Rede 6	91425,2

Tabela 6.9 - Perdas de carga obtidas para cada rede de ar

Rede [Nº]	$\Delta P$ [Pa]
Rede 7	708
Rede 8	708

#### 6.4.4. Potências dos equipamentos

Aplicando a expressão 5.2, aos valores obtidos no decorrer deste item é então possível obter os consumos das bombas e dos ventiladores instalados no sistema.

Tabela 6.10 - Potências instaladas associadas às bombas

Rede [Nº]	Potência bombas [W]
REDE 1	190
REDE 2	208
REDE 3	1315
REDE 4	77
REDE 5	125
REDE 6	373

Tabela 6.11 - Potências instaladas associadas aos ventiladores

Rede [Nº]	Potência ventiladores [W]
REDE 7	8726
REDE 8	5822

Tabela 6.12 - Potências totais instaladas em bombas e ventiladores

	Potência total instalada [kW]
Bombas nas redes de Arrefecimento	1,71
Bombas nas redes de Aquecimento	0,57
Ventiladores nas redes de ar	14,5

#### 6.4.5. Potência total instalada no sistema

A potência total instalada no sistema será então obtida com a soma entre a potência que o *chiller*/BC fornece ao sistema e as potências dos equipamentos anexos a este.

Tabela 6.13 - Potências totais instaladas no sistema de climatização

	Potência total instalada [kW]
Sistema em modo Arrefecimento [kW]	251,2
Sistema em modo Aquecimento [kW]	108,1

### 6.5. Introdução do Sistema de Climatização no modelo validado e criação de um modelo base para estudo

Com o processo de pré-dimensionamento do sistema de climatização realizado é possível então introduzir os dados referentes às bombas, ventiladores e *chiller*/BC.

A introdução do sistema de climatização no modelo é realizada de forma análoga aos restantes sistemas anteriormente introduzidos. Será então criado um novo edifício B o qual será constituído apenas pelo sistema centralizado de climatização pré-dimensionado e pelos sistemas de climatização fictícios, que têm um perfil de utilização nulo que contemplam as zonas não climatizadas do edifício.

Após modelar o novo edifício B, é possível então proceder à simulação dinâmica do mesmo, sendo o resultado a situação base deste estudo.

Os resultados obtidos com a simulação dinâmica deste novo modelo serão os consumos energéticos base que irão ser alvo de variações e comparações, quando aplicada a metodologia de Taguchi. Os resultados obtidos são apresentados na tabela seguinte.

Tabela 6.14 - Consumos energéticos do modelo base referente à situação em estudo

<b>Componente</b>	<b>Consumo energético [kWh]</b>
Sistemas de ventilação	46.509
Arrefecimento	39.772
Aquecimento	2.438
Bombas	5.664
Extração/ventilação	0
<b>AVAC sub-total</b>	<b>94.383</b>
Iluminação	85.015
Equipamento elétrico	179.656
<b>Não- AVAC sub-total</b>	<b>264.670</b>
<b>Total</b>	<b>359.053</b>



# Capítulo 7

## Aplicação da Metodologia Taguchi

No capítulo anterior foi elaborado um modelo a partir do modelo elaborado no trabalho de auditoria, onde se alteraram os sistemas de climatização.

Neste presente capítulo ir-se-á aplicar a metodologia de Taguchi ao estudo, obtendo-se as soluções para as diversas experiências. Todo este procedimento seguirá o algoritmo apresentado no capítulo 2.

A aplicação da metodologia irá abranger 3 fatores controláveis e 2 fatores de ruído. As variáveis controláveis assumidas serão a potência específica de ventilação, o caudal de ar novo a insuflar e a temperatura da água fria na saída do *chiller*. As variáveis de ruído serão a ocupação dos quartos do hotel e a potência de iluminação.

Após determinada a experiência mais favorável será aplicada uma técnica estatística vulgarmente denominada análise de variância. Esta compara médias de diferentes conjuntos de respostas, sendo assim possível obter a solução ótima. A aplicação de tal permite ainda verificar quais os fatores que têm maior influência na resposta.

## 7.1. Problema Alvo e Objetivo de estudo

Como já referido, o problema alvo é o consumo energético do edifício, que se pretende minimizar. É de evidenciar nesta fase inicial, que todos os consumos abrangidos no estudo são consumos de eletricidade. Neste edifício apenas é utilizado gás natural para AQS, consumo que não será contabilizado para efeitos deste estudo.

## 7.2. Fatores controláveis e níveis assumidos

Neste ponto ir-se-ão definir os fatores controláveis e os níveis que poderão assumir. Um fator controlável é uma variável que tem uma influência direta no valor da resposta.

Todos os processos apresentados pelo algoritmo do método são imprescindíveis para a sua concretização. Todavia esta etapa atinge uma maior relevância. O número de fatores a controlar e número de níveis assumidos, influencia diretamente o número de experiências a realizar posteriormente. De modo a realizar um estudo preciso da redução do consumo energético por parte do edifício, inúmeros fatores poderiam ser considerados. Para melhorar ainda o processo tais fatores poderiam ainda assumir vários níveis, o que originaria um extenso plano experimental com inúmeras experiências.

Para este trabalho, optou-se pela escolha de 3 fatores controláveis que poderão adotar 2 diferentes níveis diferentes.

Estes 3 parâmetros têm reconhecido significado no consumo energético final do edifício. São eles:

- SFP- Potência específica de ventilação [ $\text{W}/\text{m}^3/\text{s}$ ];
- Caudal de ar novo [ $\text{m}^3/\text{h}$ ];
- Temperatura da água fria à saída do *chiller* [ $^{\circ}\text{C}$ ].

### 7.2.1. Potência específica de ventilação

Este parâmetro é vulgarmente denominado por SFP acrónimo derivado da nomenclatura inglesa *Specific Fan Power*. Tal parâmetro é uma unidade de medida que quantifica a potência elétrica que um ventilador requer para movimentar um certo volume de ar. Este parâmetro relaciona-se com a eficiência do ventilador.

De acordo com a regulamentação EN 13779-2007 este parâmetro pode ser classificado em 7 diferentes categorias.

Tabela 7.1 - Classificação das categorias de SFP de acordo com a regulamentação Europeia EN 13779-2007

Category	P <sub>SFP</sub> , kW/(m <sup>3</sup> /s)
SFP 1	< 0,5
SFP 2	0,5 – 0,75
SFP 3	0,75 – 1,25
SFP 4	1,25 – 2,0
SFP 5	2,0 – 3,0
SFP 6	3,0 – 4,5
SFP 7	> 4,5

Neste edifício operam inúmeros ventiladores tendo a sua eficiência energética grande influência no consumo final do edifício.

Para efeito deste estudo os 2 níveis que este fator irá assumir serão:

- Nível 1 - SFP 2 - 750 W/m<sup>3</sup>/s;
- Nível 2 - SFP 3 - 1000 W/m<sup>3</sup>/s.

### 7.2.2. Caudal de Ar novo

Geralmente para garantir a qualidade do ar novo a insuflar é necessária uma grande quantidade de energia.

Como já referido o caudal de ar novo necessário que garante a qualidade do ar interior é um valor estipulado através do RECS.

Devido à necessidade deste fator assumir dois níveis, outro valor de caudal será determinado, não menos prezando as imposições da regulamentação. Através do método prescritivo em função da carga poluente devido à ocupação, será determinado um novo caudal de ar novo a insuflar.

Assim este caudal irá variar de acordo com a ocupação dos quartos, sendo nulo quando o quarto se encontra desocupado. Existem várias soluções tecnológicas que garantem tal controlo.

Nos restantes espaços com insuflação ar novo o caudal mantém-se constante.

Para efeito deste estudo os 2 níveis que este fator irá assumir serão:

- Nível 1 - 18600 m<sup>3</sup>/h;
- Nível 2 - 6420 m<sup>3</sup>/h + 16 m<sup>3</sup>/h × n<sup>o</sup>ocupantes dos quartos.

### 7.2.3. Temperatura da água fria à saída do Chiller

A temperatura da água fria à saída da máquina produtora de água fria é um parâmetro que influencia quer o consumo da própria máquina quer a potência das unidades terminais do sistema de climatização.

Assim este é um parâmetro significativo para a redução do consumo global do edifício.

Para efeito deste estudo os 2 níveis que este fator irá assumir serão:

- Nível 1 - 5 °C;
- Nível 2 - 7 °C.

## 7.3. Seleção e aplicação da matriz ortogonal

O processo de seleção da matriz ortogonal de Taguchi, que será aplicada neste estudo, foi relatado no capítulo 2.

Tabela 7.2 - Matriz ortogonal selecionada para a aplicação da metodologia

Nº experiência	Nº coluna (fatores)		
	1	2	3
1	0	0	0
2	0	1	1
3	1	0	1
4	1	1	0

Aplicando à matriz, os valores referentes aos níveis assumidos pelos fatores anteriormente apresentados, obtém-se então a matriz experimental do caso de estudo.

Tabela 7.3 - Matriz ortogonal apresentando os valores assumidos pelos 2 níveis para os 3 fatores

Nº Experiência	SFP [W/m <sup>3</sup> /s]	q [m <sup>3</sup> /h]	T água [°C]
1	750	18600	5
2	750	6420+ (16 x nº de ocupantes)	7
3	1000	18600	7
4	1000	6420+ (16 x nº de ocupantes)	5

## 7.4. Fatores de Ruído e níveis assumidos

Analogamente à seleção de fatores controláveis, para realizar um estudo preciso da redução do consumo energético por parte do edifício, inúmeras variáveis de ruído poderiam ser consideradas.

Para efeitos deste estudo utilizar-se-ão apenas 2 variáveis de ruído.

Utilizando o mesmo critério da seleção de fatores serão então selecionadas as variáveis que formam o ruído que afeta este caso de estudo, são estas:

- Ocupação dos quartos do Hotel [%];
- Potência de Iluminação [ $\text{W/m}^2$ ].

### 7.4.1. Ocupação dos quartos

A ocupação de um hotel é um parâmetro considerável no consumo energético final, havendo flutuações sazonais e anuais. Sendo a ocupação uma variável não controlável será então uma variável de ruído.

Com base em fontes creditadas esta variável assume valores análogos às taxas de ocupação média na região Autónoma da Madeira, para época alta e época baixa.

Para efeito deste estudo os 2 níveis que esta variável de ruído irá assumir serão:

- Nível 1 - 63%;
- Nível 2 - 80%.

### 7.4.2. Potência de iluminação

Genericamente a totalidade de todas as potências de iluminação de um comum edifício de serviços representa também uma grande parcela no consumo energético total do mesmo.

Ocorrem em variados casos substituições dos dispositivos de iluminação. Estas substituições são realizadas por equipamentos de maior eficiência, devido ao constante aparecimento no mercado de lâmpadas de melhores eficiências e menores consumos. Deste modo, as potências de iluminação reais poderão divergir bastante das potências definidas em projeto. Assim torna-se uma variável não controlável, sendo a segunda variável de ruído a ser contabilizada para efeitos deste trabalho.

Para o primeiro nível esta variável irá assumir os valores registados em auditoria. Para o segundo ir-se-á reduzir tal potência apenas ao nível dos quartos.

Para efeito deste estudo os 2 níveis que esta variável de ruído irá assumir serão:

- Nível 1 - 9 W/m<sup>2</sup>;
- Nível 2 - 5 W/m<sup>2</sup>.

## 7.5. Plano experimental originado

A introdução de ruído ao estudo vai definir o plano experimental. De acordo com o número de níveis assumidos pelas variáveis de ruído, a cada experiência da matriz ortogonal experimental, duas variações dos níveis de ruído estão associadas.

Tabela 7.4 - Esquema demonstrativo do planeamento experimental

Nº experiência	Fatores			Ruídos	
				0	1
1	0	0	0	0	1
				1	0
2	0	1	1	0	1
				1	0
3	1	0	1	0	1
				1	0
4	1	1	0	0	1
				1	0

Deste modo para cada experiência da matriz experimental serão realizados dois ensaios. Deste processo irá resultar um plano experimental completo por 8 ensaios.

Tabela 7.5 - Plano experimental do estudo representando os níveis que os fatores e os ruídos irão assumir

Nº ensaio	Fatores			Ruídos	
1	0	0	0	0	1
2	0	0	0	1	0
3	0	1	1	0	1
4	0	1	1	1	0
5	1	0	1	0	1
6	1	0	1	1	0
7	1	1	0	0	1
8	1	1	0	1	0

Com a aplicação dos valores referentes aos níveis assumidos pelos fatores, e com a aplicação dos valores referentes aos níveis assumidos pelas variáveis de ruído, obtém-se então o plano experimental relativo a este estudo.

Tabela 7.6 - Plano experimental do estudo com os valores assumidos pelos níveis quer de fatores quer de ruídos

Nº ensaio	SFP [W/m³/s]	q [m³/h]	T água [°C]	Ocupação [%]	P. Ilum. [W/m²]
1	750	18600	5	63	5
2	750	18600	5	80	9
3	750	6420+ (16 x nº de ocupantes)	7	63	5
4	750	6420+ (16 x nº de ocupantes)	7	80	9
5	1000	18600	7	63	5
6	1000	18600	7	80	9
7	1000	6420+ (16 x nº de ocupantes)	5	63	5
8	1000	6420+ (16 x nº de ocupantes)	5	80	9

## 7.6. Realização dos ensaios e resultados obtidos

Com o plano experimental traçado é então possível concretizar os ensaios. Para tal serão efetuadas as variações indicadas para cada ensaio no modelo base, alterando-se cada um dos parâmetros correspondentes no modelo. Correndo o programa obtiveram-se os seguintes resultados de consumo energético.

Tabela 7.7 - Resultado obtidos através dos ensaios 1 e 2, correspondentes à experiência 1

Ensaio 1		Ensaio 2	
Componente	Consumo energético [kWh]	Componente	Consumo energético [kWh]
Sistemas de ventilação	46.281	Sistemas de ventilação	46.504
Arrefecimento	35.907	Arrefecimento	39.231
Aquecimento	2.942	Aquecimento	2.516
Bombas	5.660	Bombas	5.664
Extração/ventilação	0	Extração/ventilação	0
<b>AVAC sub-total</b>	<b>90.790</b>	<b>AVAC sub-total</b>	<b>93.914</b>
Iluminação	61.747	Iluminação	85.015
Equipamento elétrico	179.656	Equipamento elétrico	179.656
<b>Não- AVAC sub-total</b>	<b>241.403</b>	<b>Não- AVAC sub-total</b>	<b>264.670</b>
<b>Total</b>	<b>332.193</b>	<b>Total</b>	<b>358.584</b>

Tabela 7.8 - Resultado obtidos através dos ensaios 3 e 4, correspondentes à experiência 2

Ensaio 3		Ensaio 4	
Componente	Consumo energético [kWh]	Componente	Consumo energético [kWh]
Sistemas de ventilação	23.115	Sistemas de ventilação	24.507
Arrefecimento	36.314	Arrefecimento	39.641
Aquecimento	1.674	Aquecimento	1.602
Bombas	5.666	Bombas	5.672
Extração/ventilação	0	Extração/ventilação	0
<b>AVAC sub-total</b>	<b>66.769</b>	<b>AVAC sub-total</b>	<b>71.422</b>
Iluminação	61.747	Iluminação	85.015
Equipamento elétrico	179.656	Equipamento elétrico	179.656
<b>Não- AVAC sub-total</b>	<b>241.403</b>	<b>Não- AVAC sub-total</b>	<b>264.670</b>
<b>Total</b>	<b>308.172</b>	<b>Total</b>	<b>336.093</b>

Tabela 7.9 - Resultado obtidos através dos ensaios 5 e 6, correspondentes à experiência 3

Ensaio 5		Ensaio 6	
Componente	Consumo energético [kWh]	Componente	Consumo energético [kWh]
Sistemas de ventilação	60.130	Sistemas de ventilação	60.353
Arrefecimento	36.827	Arrefecimento	40.158
Aquecimento	2.808	Aquecimento	2.402
Bombas	5.643	Bombas	5.649
Extração/ventilação	0	Extração/ventilação	0
<b>AVAC sub-total</b>	<b>105.408</b>	<b>AVAC sub-total</b>	<b>108.561</b>
Iluminação	61.747	Iluminação	85.015
Equipamento elétrico	179.656	Equipamento elétrico	179.656
<b>Não- AVAC sub-total</b>	<b>241.403</b>	<b>Não- AVAC sub-total</b>	<b>264.670</b>
<b>Total</b>	<b>346.811</b>	<b>Total</b>	<b>373.232</b>



Tabela 7.10 - Resultado obtidos através dos ensaios 7 e 8, correspondentes à experiência 4

Ensaio 7		Ensaio 8	
Componente	Consumo energético [kWh]	Componente	Consumo energético [kWh]
Sistemas de ventilação	29.257	Sistemas de ventilação	31.039
Arrefecimento	36.712	Arrefecimento	40.066
Aquecimento	1.605	Aquecimento	1.539
Bombas	5.649	Bombas	5.648
Extração/ventilação	0	Extração/ventilação	0
<b>AVAC sub-total</b>	<b>73.224</b>	<b>AVAC sub-total</b>	<b>78.292</b>
Iluminação	61.747	Iluminação	85.015
Equipamento elétrico	179.656	Equipamento elétrico	179.656
<b>Não- AVAC sub-total</b>	<b>241.403</b>	<b>Não- AVAC sub-total</b>	<b>264.670</b>
<b>Total</b>	<b>314.627</b>	<b>Total</b>	<b>342.962</b>

Para uma melhor exposição destes resultados é apresentado na tabela 7.11 um resumo de todos os consumos a contabilizar para este estudo, obtidos em cada ensaio. É também apresentado na já referida tabela o total destes consumos referente a cada ensaio.

Tabela 7.11 - Resumo dos resultados obtidos em função do ensaios

NºEnsaio	Ventilação [kWh]	Arrefecimento [kWh]	Aquecimento [kWh]	Bombas [kWh]	Iluminação [kWh]	Total [ kWh ]
1	46281	35907	2942	5660	61747	152537
2	46504	39231	2516	5660	85015	178926
3	23115	36314	1674	5660	61747	128510
4	24507	39641	1602	5670	85015	156435
5	60130	36827	2808	5643	61747	167155
6	60353	40158	2402	5649	85015	193577
7	29257	36712	1605	5649	61747	134970
8	31039	40066	1539	5648	85015	163307

## 7.7. Análise dos resultados experimentais obtidos

Após a obtenção dos resultados experimentais é necessário analisá-los de modo a obter conclusões da aplicação de tal metodologia.

Primeiramente com base na característica da qualidade definida será aplicado o critério dos coeficientes sinal-para-ruído. A aplicação deste critério irá determinar qual o ensaio que apresenta resultados mais convergentes com a característica, ou seja qual das experiências apresenta o resultado mais favorável.

Seguidamente será aplicado o critério da análise de variância. A partir dos resultados obtidos com este critério serão obtidas duas conclusões.

Primeiramente, será determinada a solução de climatização ótima, aquela que assume um conjunto de níveis que resulta no menor consumo energético do edifício.

Também com base nos resultados obtidos na análise de variância é possível verificar qual dos fatores controláveis terá mais influência na variável resposta.

### *7.7.1. Seleção da característica, aplicação dos coeficientes sinal-para-ruído e seleção da experiência mais favorável*

Passando o objetivo deste estudo pela redução do consumo energético do edifício, a característica da qualidade da resposta logicamente assume a tipologia "quanto menor melhor".

Estando a característica determinada é então aplicada a referente expressão 2.4 aos resultados experimentais. Deste modo são então obtidos os referidos quocientes, referente a cada experiência.

Tabela 7.12 - Quocientes Sinal- para-Ruído obtidos com a aplicação da fórmula 2.4

Nº Experiência	Total [kWh] ensaios Nº 1,3,5 e 7	Total [kWh]Ensaaios Nº 2,4,6 e 8	S/N
1	152537	178926	-102,6546288
2	128510	156435	-101,3552201
3	167155	193577	-103,3854181
4	134970	163307	-101,749904

Estes coeficientes irão exprimir qual das experiências apresenta menor variabilidade, ou seja, a experiência das testadas que apresenta o melhor resultado através da aplicação da metodologia.

Analisando os quocientes calculados apresentados na tabela 7.12 e baseado na condição da característica "quanto menor melhor", será determinada qual das experiências apresenta um consumo mais reduzido para o edifício.

O quociente sinal-para-ruído que apresenta o menor valor é referente à experiência 2.

### *7.7.2. ANOVA, determinação da solução ótima e verificação da influência dos fatores*

Como já referido, este critério compara médias de diferentes conjuntos de respostas e verifica quais os fatores que têm maior e menor influência sobre as respostas.

Para o caso em estudo a aplicação deste critério passa por comparar as médias dos quocientes sinal-para-ruído obtidos no processo experimental.

Para cada fator são determinadas as médias dos quocientes sinal-para-ruído, referentes ao

nível que o fator assume.

Tabela 7.13 - Médias dos quocientes relativas a cada fator e a cada nível

Níveis	Fatores		
	1	2	3
0	-102,0049245	-103,0200235	-102,3703191
1	-102,5676610	-101,5525620	-102,2022664

Sendo a característica "quanto menor melhor", para a solução ótima, cada fator irá assumir o nível que apresenta uma média dos coeficientes SN mais próxima de 0.

Deste modo analisando a tabela 7.13 verifica-se que a solução ótima obtida com o estudo é a apresentada na tabela seguinte.

Tabela 7.14 - Níveis assumidos pelos fatores para a solução ótima

	Fatores		
	1	2	3
Solução ótima	0	1	1

Analisando também a tabela 7.13 é possível verificar qual o fator com mais influência na variável resposta, ou seja, uma maior discrepância entre as médias determinadas. O valor que apresenta a maior discrepância é o mais influente na variável resposta.

Conclui-se então que o fator 2 é o que apresenta maior influência neste caso de estudo, ou seja, que o caudal de ar novo é o fator que terá maior influência no consumo energético final do edifício conforme é ilustrado no seguinte gráfico.

Para uma melhor exposição o gráfico 7.1 representa as médias determinadas em função do número de níveis.

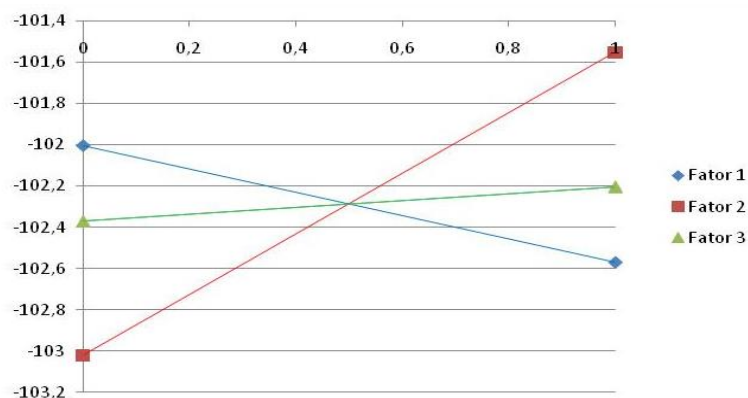


Gráfico 7.1 - Representação gráfica da variação das médias de Sinal-para-ruído determinadas

Verifica-se assim que o caudal de ar novo é o fator mais influente na variável resposta.

Seguidamente o fator com mais influência é o fator 1, referente à potência específica de ventilação. Dos fatores definidos para o estudo o que apresenta menos influência na variável resposta é o fator 3, referente à temperatura da água à saída da máquina produtora de água fria.

## 7.8. Validação da solução ótima selecionada e comparação de resultados

Após a obtenção da solução ótima é necessário a sua validação.

Aplicando os valores referentes aos níveis assumidos pelos fatores para a solução ótima determinada, obtém-se a seguinte solução a validar.

Tabela 7.15 - Valores assumidos pelos níveis determinados para a solução ótima

	SFP [W/m <sup>3</sup> /s]	q [m <sup>3</sup> /h]	T água [°C]
Solução ótima	750	6420+ (16 x nº de ocupantes)	7

Observando a tabela anterior verifica-se que a solução ótima determinada é análoga à experiência mais favorável, a experiência 2. Estando a solução ótima entre o conjunto de experiências testadas não é necessária uma nova simulação de validação.

Observado a tabela 7.8 na qual são apresentados os consumos relativos à experiência 2, verifica-se que esta experiência é a que apresenta menores consumos energéticos no edifício. Deste modo considera-se a solução ótima determinada pelo estudo validada. Caso a solução ótima obtida fosse diferente de qualquer experiência antes testada, para a solução ser considerada válida, seria necessária uma nova simulação do modelo, e os consumos obtidos teriam que ser menores do que qualquer consumo obtido com as experiências efetuadas.

# Capítulo 8

## **Análise de resultados e conclusões**

A concretização do presente trabalho dividiu-se em 3 etapas: pesquisa e aquisição de *know how* para a aplicação da metodologia Taguchi, elaboração de um modelo de uma situação empírica que vai ao encontro do objetivo do estudo, e por fim a aplicação da metodologia ao modelo desenvolvido.

Após a conclusão deste trabalho é realizada uma retrospeção de todos os procedimentos utilizados, onde serão avaliados e discutidos os demais resultados obtidos.

Seguidamente são apresentadas de acordo com a etapa do trabalho, tais avaliações e discussões com o objetivo de justificar e clarificar os valores obtidos em todos os processos.

Num modo conclusivo, na fase final deste capítulo são apresentados possíveis desenvolvimentos futuros deste trabalho.

## 8.1. Pesquisa e aquisição de *know how* para a aplicação da metodologia

Está foi a primeira etapa para a concretização do trabalho. Contudo já nesta fase surgem algumas relações preponderantes a serem relatadas.

Primeiramente verifica-se a vasta aplicabilidade da metodologia de Taguchi. Dos poucos casos demonstrativos da aplicação da metodologia encontrados na fase de pesquisa, todos eles são aplicados aos mais diferentes tipos de estudo. Verifica-se assim que a metodologia poderá ser aplicada a qualquer estudo, desde que tal tenha 2 ou mais fatores que influenciem em simultâneo a variável resposta.

Nesta fase conclusiva ir-se-á também identificar uma das grandes, se não a principal, vantagem da aplicação desta metodologia. Sucintamente esta metodologia reduz de forma coerente o número de ensaios a concretizar para se obterem os resultados pretendidos. Apenas é necessária a concretização de um número de experiências igual ao número de graus de liberdade, para garantir a robustez do processo.

Sendo este um caso de reduzidas dimensões, neste estudo a redução é de apenas 4 experiências, como é possível observar comparando as figuras 2.4 e 2.5.

Contudo, observando a expressão 2.1 verifica-se o número de experiências aumenta com o número de fatores e níveis admitidos. Não é, pois, necessário um estudo com um elevado número de fatores para originar um plano experimental de grandes dimensões. Exemplificando, num estudo no qual sejam admitidos 5 fatores a 3 níveis resultará num plano experimental de 243 experiências. Um número bastante avultado, observando que este exemplo tem somente mais 2 fatores e mais 1 possível nível, que o estudo desenvolvido. Aplicando a expressão 2.2 a este estudo exemplo, verifica-se que segundo a metodologia de Taguchi, é somente necessária a realização de 12 experiências.

Deste modo, a utilização de matrizes ortogonais em planeamentos de experiência revela-se uma ferramenta deveras proveitosa, quando se pretende uma redução de processos atingindo resultados coerentes.

Contudo, o processo chave de toda a metodologia é a utilização dos quocientes sinal-para-ruído, originados através da função perda. Esta é a ferramenta chave em toda a metodologia, que contabiliza a perda que está associada em função do desvio provocado pelo ruído. Sucintamente é possível contabilizar o desvio do valor alvo ocorrido em cada experiência.

Outra ferramenta que mostra grande relevância para a análise de resultados é a ANOVA.

Tal critério identifica a solução ótima para o estudo, e também identifica a ordem de relevância que os fatores selecionados assumem na variável resposta. Identificando quais os fatores mais influentes revela-se preponderante, pois identifica quais os fatores que terão que ser alvo de maiores alterações para a obtenção de melhores resultados.

## **8.2. Validação do modelo do edifício**

Apesar das divergências entre os softwares nos quais foram desenvolvidos os dois modelos, a validação do modelo criado garantiu uma analogia entre este modelo e o modelo elaborado pela equipa de auditoria.

Esta validação foi resultado de duas comparações. A primeira comparou as cargas térmicas necessárias obtidas através do modelo desenvolvido com as potências instaladas registadas pela equipa de auditoria. A segunda comparou os consumos energéticos obtidos através do modelo desenvolvido com os consumos energéticos faturados. Como as duas comparações não apresentam divergências superiores a 10%, conclui-se então que o modelo desenvolvido para efeitos do estudo está coerente com o modelo de peritagem, e representa de igual modo a situação real do edifício hoteleiro.

A criação do modelo da situação de estudo contemplou a introdução de um sistema de climatização centralizado pré-dimensionado para o efeito. Com o pré-dimensionamento e com a introdução deste sistema foi ainda possível utilizar critérios de cálculo explícitos na legislação em vigor.

## **8.3. Aplicação da metodologia ao modelo desenvolvido**

Referente à aplicação desta metodologia ao concreto caso de estudo desenvolvido outras conclusões serão registadas.

Devido a simplicidade do caso de estudo e devido ao tipo de fatores e variáveis de ruído assumidos, era possível prever qual das experiências era a mais favorável. O primeiro fator trata-se da eficiência de ventilação que se relaciona diretamente com o consumo que os ventiladores apresentam. O segundo fator trata-se do caudal de ar novo que tem também influência direta no consumo energético nos ventiladores. O terceiro fator trata-se da temperatura da água à saída da máquina produtora de água fria, que apresenta influência no consumo energético do *chiller*/BC.

A primeira variável de ruído é a percentagem de ocupação que o edifício. Quanto maior

for a percentagem de ocupação, maior será o consumo energético do edifício. A segunda variável de ruído é a potência de iluminação instalada no edifício. Quanto maior for a potência instalada, maior será o consumo global do edifício.

Observando a influência que os fatores e as variáveis de ruído têm no consumo energético do edifício pode-se concluir que o ensaio 3 inerente à experiência 2 é o que teoricamente irá apresentar menores consumos. Tal conclusão teórica é sustentada pela aplicação da metodologia.

Primeiramente com a aplicação da metodologia verifica-se que a experiência 2 é a experiência mais favorável, aquela que das experiências testadas apresenta o consumo energético mais reduzido para o edifício.

Em seguida é determinada qual a solução ótima, aquela que apresenta um conjunto de níveis ótimo, para o qual o edifício apresenta o menor consumo energético possível. Caso a solução seja igual a uma das experiências, a sua validação consta na comparação entre os consumos obtidos pelas experiências. Caso a solução seja diferente de todas as experiências, a sua validação passa pela simulação dinâmica da solução ótima determinada, e em seguida por comparar os resultados obtidos com os consumos auferidos pelas experiências.

Sendo a solução ótima determinada pelo estudo igual à experiência 2, validou-se a escolha sem recorrer a uma nova simulação do modelo.

A solução ótima de climatização para o edifício obtida com este estudo é apresentada na tabela 7.15:

- Potência específica de ventilação -  $750 \text{ W/m}^3/\text{s}$ ;
- Caudal de ar novo -  $6420 + (16 \times n^\circ \text{ de ocupantes}) \text{ m}^3/\text{h}$ ;
- Temperatura da água fria à saída do *chiller* -  $7^\circ\text{C}$ .

Com a obtenção desta solução pode-se afirmar que este é o conjunto de níveis que apresenta menor variabilidade na resposta.

Comparando os consumos energéticos obtidos com esta solução apresentados na tabela 7.8 com os consumos energéticos do modelo base referente à situação em estudo apresentados na tabela 6.14, verifica-se que esta solução ótima origina uma redução de cerca de 15% nos consumos energéticos totais do edifício.

Obtida a solução, verifica-se que a potência específica de ventilação é um fator preponderante no consumo energético total do edifício. Devido ao elevado número de ventiladores instalados nos VC's e na UTAN que servem o edifício e como se trata de um fator que está diretamente relacionado com a eficiência dos ventiladores, conclui-se que a otimização deste fator se traduz numa redução significativa dos consumos energéticos totais.



Verifica-se também que o caudal de ar novo é outro fator preponderante no consumo energético do edifício. O ar para ser insuflado nas condições previstas requer um grande consumo energético, pois este encontra-se à temperatura ambiente e necessita de um condicionamento térmico. Anexo a este consumo ainda existe o consumo dos ventiladores que realizam a insuflação do ar. Conclui-se então que a otimização deste fator também se traduz numa redução significativa dos consumos energéticos totais.

Verifica-se que a solução de regular o caudal de ar novo a insuflar em função da ocupação é uma solução bastante viável, pois de forma simples e sem prejudicar a qualidade do ar interior, reduz o caudal total a insuflar e consequentemente reduz o consumo energético total do edifício.

## **8.4. Desenvolvimento futuro**

Neste âmbito da metodologia de Taguchi aplicada à área da climatização alguns trabalhos poderiam ter interesse num futuro próximo.

Com base nesta metodologia poder-se-ia criar um método único tipo, o qual fosse capaz de ser aplicado a qualquer edifício, com parâmetros e ruídos pré-definidos.

Com base neste método tipo poder-se-ia criar também uma aplicação informática, a qual recebesse dados de um programa de simulação dinâmica e retribui-se, com base nos parâmetros e ruídos pré-definidos qual a solução ótima da climatização.

# Bibliografia

- [1] Artigo sobre Protocolo de Quioto. *Protocolo de Quioto*. [Em linha]. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Protocolo\\_de\\_Quioto](https://pt.wikipedia.org/wiki/Protocolo_de_Quioto), consultado a [23-4-2015].
- [2] *Curso de Formação em RECS*; versão 4.0, 2013. ADENE, Agência para a energia.
- [3] Diretiva 2002/91/EC, *Energy Performance of Buildings Directive*. Concelho Europeu, 2002.
- [4] Diretiva 2010/31/EU, *Energy Performance of Buildings Directive*. Concelho Europeu, 2010.
- [5] Kunitski, Jarek et al. (2011). *How to define nearly net zero Energy buildings nZEB*. RHEVA Journal, 2011.
- [6] Pasoalinho, André Rodrigues (2013). *NZEB e os novos revestimentos*. Dissertação de Natureza científica para a obtenção de grau de Mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- [7] Buso Tiziana et al. (2014). *Nearly Zero Energy Hotels*. RHEVA Jornal, 2014.
- [8] Santos, Miguel J. P.S. C et al. (2015). *A preliminary check of the refurbishing large office buildings to a zero energy conditions*. 9th International Conference on Axiomatic Design – ICAD 2015.
- [9] Ribeiro, Patrício D.V. (2008). *Análise de Programas de cálculo de Consumo de Energia em Edifícios*. Tese apresentada para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [10] ASHRAE 140:2004, Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Program. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.
- [11] Kumitski, Jarek (2013). *Technical definiton for nealy zero energy buildings*. RHEVA Publications e Resources. [Em linha]. Disponível em: <http://www.rehva.eu/publications-and-resources/hvac-journal/2013/032013/technical-definition-for-nearly-zero-energy-buildings-full-lenght-version/>, consultado a [15-4-2015].
- [12] Marzal, Anna J. e Heiselberg (2009). *A literature review of Zero Energy Building (ZEB)*

*defenitions*. Aalborg University, Denmark. Citation for published version.

- [13] Kapsalaki, Maria e Leal, Vitor (2011). *Recent progress on net xero energy buidings*. Earthscan, publishing for a sustainable future.
- [14] Silveira, Elaine C. F. (2007). *O que é a Qualidade?* [Em linha]. Disponível em:  
<http://pt.slideshare.net/ELAINESILVEIRA/o-que-qualidade>, consultado a [22-5-2015].
- [15] Artigo sobre o método de controlo estatístico do processo. *Controle estatístico de Processos*. [Em linha]. Disponível em:  
[https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Controle\\_estat%C3%ADstico\\_de\\_processos&action=history](https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Controle_estat%C3%ADstico_de_processos&action=history), consultado a [22-5-2015]
- [16] Cipriano, Pedro M.L. e Graça, Sérgio A. L. (2014). *Otimização de um sistema AVAC utilizando Técnicas de Taguchi*. Projeto final de curso para a obtenção do Grau de Licenciatura em Engenharia Mecânica no ramo da Energia. Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Setúbal.
- [17] Alberto, Manuel A. M. (2013). *Planeamento de Experiências e Controlo de Qualidade na Indústria*. Dissertação apresentada para a obtenção do Grau de Mestre em Matemática, Estatística e Computação. Universidade Aberta.
- [18] Moita, Nuno F. V. C. (2007). *Implementação do método Taguchi e análise de experiências na fase de teste de moldes para a injeção de plásticos*. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica. Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa.
- [19] Castro, Paula M. M.. *Método de Taguchi: Controlo de qualidade com recurso não convencional ao desenho estatístico de experiências*. Instituto Português da Administração de Marketing (IPAM).
- [20] Matos, José L.. *Utilização do Planeamento de Experiências de Taguchi na otimização da aplicação de Amido de superfície em Symsizer*. Grupo Portucel Soporcel.
- [21] Kacker, Raghu N. et al. (1991). *Taguchi Orthogonal Arrays Are Classical Designs of Experiments*. Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, Volume 96, Number 5.
- [22] Pozzobon, Rafael (2011), Faculdade Metodista de Santa Maria. *Método Taguchi*. [Em linha]. Disponível em:

- <http://pt.slideshare.net/RafaelPozzobon/mtodo-taguchi>, consultado a [15-6-2015].
- [23] Yukimura, Carlos D. L. (2013). *Introdução à engenharia da qualidade e o Método Taguchi*. [Em linha]. Disponível em:
- <http://pt.slideshare.net/yukimura11/introduo-engenharia-da-qualidade-e-o-mtodo-taguchi>, consultado a [2-7-2015].
- [24] Andrade, Leonardo S. (2003). *Estudo Comparativo de Técnicas para identificar fatores de Ruído em experimentos Fatoriais*. Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Estatística. Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica da Universidade Estadual de Campinas.
- [25] Costa, Manuel F. C. C. (2013). *Aplicação do Desing Builder à Avaliação de Soluções de Aquecimentos e arrefecimento de Edifícios para Diferentes Zonas Climáticas em Portugal*. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do Grau de Mestre em Engenharia Civil – Especialização em Construções. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [26] Coelho, Luís M. R. (2015). *Relatório de Peritagem Hotel Palms, Avaliação do desempenho energético e identificação de medidas de melhoria em grandes edifícios de comércio e serviços existentes*. Relatório realizado no âmbito do sistema de Certificação energética dos Edifícios (SCE), Decreto-Lei 118/2013 de 20 de Agosto.
- [27] Santos, Miguel J. P.S. C. *Regulations EU 1253/2014 and its implications for the products*.
- [28] Deodato, Alexandre e Rosa, Décio L. A. (2013). *Estudo de Simulação energética e Certificação de uma moradia geminada*. Projeto apresentado como requisito parcial para a obtenção do Grau de Licenciado em Engenharia Mecânica no ramo da Energia. Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Setúbal.
- [29] Filonenko, Artur (2015). *Specific Fan Power*. Dissertação Tese submetida para satisfação parcial dos requisitos do Grau de Licenciado em Engenharia Civil .MAMK University of Applied Sciencis.
- [30] Siopa, André R. (2012). *Eficiência Energética e Simulação Dinâmica*. Dissertação apresentada para a obtenção do Grau de Mestre – Conversão Elétrica e Sistemas Sustentáveis. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.